

4. 割れ目の出来方特に雁行性に就いて

地震研究所 { 藤 原 咲 平
 { 高 山 威 雄

(昭和六年一月二十日受理)

著者等は、大正十二年の關東大震災以來破壊現象に興味を覺へ、二三の研究¹⁾を發表したが更に初步の實驗を續け數月に涉つて本所談話會席上に發表した。²⁾ 以下は其梗概であるが、何回にも作つた原稿である爲に文體用語等の統一が得られて居ない。只是等を整理する時間の餘裕がないが爲に其儘にして發表するのは心苦しい次第である。尙實驗はしても細叙する必要のないものは省略して、只其結果丈を第二章に述べた。又此研究中で一番重點を置いたのは雁行性裂罅の研究で、是は第四章に於て述べた。從て第四章に於ける結論は此雁行性に就いてのみの結論である。總體的結論は第二章に於て述べてある。

第一章 緒 論

1. 目的 地震の研究中最も進歩したるは震波論にして最も進歩せざるは破壊の物理ならん。我國は地震國にして從て破壊地震の大なるもの

1) (1)「地形の渦巻と相模灘大地震」氣象集誌 43, 1-6. (2)「相模灘大地震の機巧に於て」驗震時報 1, 161-170. (3)「地渦と地裂線とに就いて」地理教育 3, 1-11. (4)「火山脈と山體裂線とに就いて」地理學評論 1, 735-758. (5)“Torsional form on the face of the earth,” 長岡記念論文集、地球物理學輯報 (1928), (6)「北丹後地震踏査報告」「北丹後地震と割目の實驗」驗震時報 3, 191-209, 125-132. (7)“On the echelon structure of Japanese volcanic ranges and its significance from the vortical point of view,” *Gerlands Beiträge*, (1927), 1-14. (8)“On the mechanism of the great Sagami Bay earthquake on Sept. 1, 1923.” *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 6, 149-176. (9)「地形から地殼の移動從て地殼に働く歪力を判斷することの可能度に就いて」地震研究所彙報 7, 523-530. (10)「北伊豆地震踏査報告及模型實檢」驗震時報 4, 65-73.

2) (1)歪み割れの研究、大正十五年七月六日講演。(2)震源帶相互の活動に就て、昭和二年四月十九日。(3)縁邊の割目に就て、同年五月十七日。(4)割目の實驗、同年六月廿一日。(5)往復的歪力による裂罅の生成、附地震帶相互活動及餘震に關する一考察、三年七月三日。(6)鍛冶屋澤の山崩に就て、四年三月十九日。(7)裂罅の一種に就て、同日。(8)紅海附近の構造に就て、同年七月四日。(9)切り込みを有する板の撓曲による内力の分布に就て、五年六月十七日。(10)割れ目の出来方特に雁行性割れ目の出来方に就いて、五年十一月十八日。

あり。故に破壊の物理學的研究は學者間には假令興味少なき問題なりとするも、應用の見地よりすれば打ち捨て置き難きものと思はせらる。

物體破壊に關する研究は從來工學方面に於て材料の強弱の檢定等に於て研究頗る多し、然れ共主として諸種工作物に應用せらるべき方面の研究を、主とするが故に自然吾人の目的に適するもの少なし、吾人の第一の目的は破壊の起りたる後及進行中の形相を見て其破壊を起したる力の加はり方を知らんとするに在り、而して研究の順序としては、知られたる力を加へて種々なる形相の破壊を起らしめ、其間に或種の法則を發見して後是を逆用せんとするに在り。

地球上二大造山帶即環太平洋及地中海造山帶あるは良く知らるゝ所に於て是が我國に關しては或はゼオンクライン説ありオローゲン説あり。或は大陸よりの側壓を稱へ又は海中よりの傍壓を高潮する等諸説紛々歸する所を知らず要するに地形に依りて其壓力の如何なるかを判斷する知識が正確を缺くに依り、諸説皆空中樓閣の感ある所以なり。

我日本は不幸此環太平洋造山帶に屬し從て地震及火山現象の頻發するを免れず、故に地震火山等の如き地變を豫知せんとせば先づ其大原因たる造山作用を究明するを要す、其爲には空想的研究を捨て、實際に就きて其原動力の發露を探究し其力の本體を捕ふるを要す。然れ共此方針に依るも一朝一夕にして目的を達し得可きには非ず。又一人二人の單なる努力に依りて達せらるゝものにも非ず、吾人は目的と方針とを定め可及的確實なる一步を踏まんと欲す。

2. 方針 既に著者等によりて注意せられたる所によれば地球表面に於て或は渦卷式地形の整然たるものあり、^{1), 3)} 又雁行裂罅の是に伴ふものあり^{1), 3)} 此種形體は吾人をして其成因の偶然ならざるを思はしむ。然れども此形態たるや幾千幾萬方里の地殻地表の示すものにして、又必ずや幾萬幾億年の營力の下になされたるものなるべし、從て吾人は是を直接實驗に依りて研究するを得ず。是を所謂理論的に誘導せんとするも既に數學の可能範圍を超越せるを以て其理論たるや只假定と空論に過ぎざるものたる虞多し。是に於て吾人の進むべき道の甚限られたるを覺ゆ其一は造山物質の物理的性質を測定する事なり、其二は適當なる寸法と適當な

3) (1) "Growth and Decay of Vortical Systems, Appendix II," *Japanese Journal of Astr. & Geophysic*, Vol. I, No. 5, 180. "Vortical Formation on the Face of the Earth, ditto Vol III, 103. Also see Prof. Nagaoka's Anniversary Volume. (2) "On the Volcanic Ranges of the Japanese Islands," *Gerl. Beitr.*

る物性を有する材料に依りて小規模の實驗をなす事なり、其三は所謂 principle of similitude 等を用いて測定せられたる岩石の性質と實際の規模を有する形態を小實驗の形態より推斷する事なり。此方法は氣象學地學等に於ては最も信頼し得可き方法の一たるべし。

かくて吾人の第一に知らんと欲するは高温高壓下に於ける岩石の性質なり、而して此方面の研究は外國に於ては Adams, Goldschmidt, 等吾國に於ては長岡博士、神津博士等の研鑽あり、未だ完了と云ひ難きも駁駁たる進歩は吾人の意を強ふするに足るべし。

第二に知らんとするは地殼の成層状態及岩漿の配置なり。此方面は一方地震波動の檢測よりして、古くは Wiechert 近くは Mohorovicic, Gutenberg 等の研究あり、又 Jefferies, Joly 等の議論もあり、吾國に於ても亦國富氏和達氏松澤氏等の研究あり。尙又無線電波による大氣の檢測の如く電波を利用する地下の檢測は將來に於て希望を繋ぎ得るものなるやも知れず。

第三に知らんとする事は地殼破壊の實状にして一は地形學的に一は地震學的に進捗すべきものなり此二點に於ては吾國に於ては殊に材料と研究者に富むは世間熟知の事なり。殊に近來我國に於てブロック構造の實情の明になりあるは著しきものなり。

斯くて殘る所は地震の實際破壊又は現状地形等を示すべき實驗的研究なり、然れ共茲に困難なるは Viscosity 及 Plasticity を有す物質の力學殊に其破壊に於ける基本方程式の確立せざる事なり。又第二は岩石に於て是等諸性質の未だ充分に測定せられざる點なり、よつて吾人は豫め實驗開始に際して寸法、歪力等を決定し難し。依りて止むを得ざる方法として先づ結果に於て地殼及地震に於ける形態と類似したる形態を作り出し置き、將來に於て方程式及常數の明になりたる場合の用に供せんとす。斯くて實驗の結果は尙半途にあるものにして實際の地震に對して結論を得るには困難の場合多きも幸にして實驗の途中破壊に關する一般法則の如きものを得れば、是が應用として地殼に於ける現象を推論するを得べし。

以下に於ては上の趣旨に従ひ物質の變形及破壊に關する實驗及觀察を整理し置き將來の研究に資せんとす。

3. 實驗概論 實驗としては定量的實驗が望まれる可きものなれども初歩に於ては先づ定性的に全般の關係を概觀する事も亦必要なり。依りて

本篇に於ては定性的概括的の部分を主とし時々數量的のものを加ふるに過ぎず。

材料としては岩石等を用ゆべき様考ふるは最も自然的なれども小規模に於て模型的に行はるゝ際の弾性、粘性、可捏性 (plasticity) は實際造山作用の際に大規模に現はるゝ是等の性質と同一物たり難し、是れは近來氣象學上に於て空氣の粘性として小規模の場合には molecular viscosity (分子粘性) を用いれども大規模の場合に於ては所謂 eddy viscosity (渦亂粘性) が主として働く事と類似し、更に具體的に説明すれば一岩石標本に依りて測定したる弾性粘性、可捏性は分子的のものなれども、實際地殻を形成しある場合は常に縦横の裂罅を有し、此裂罅を有する大地に於ける見かけ上の弾性、粘性、可捏性は明に標本の示すものとは異なる、又其裂罅の平均距離數米程度のもの即所謂 joint (節理) の影響する範圍は數十又は數百米以内の現象に於て著しかるべく、更に數十又は數百呎以内の現象に於ては裂罅間の距離數呎程度即副斷層程度の裂罅に於ける作用を考量したる粘性等ならざる可からず、更に太平洋全局の歪力等を考ふる場合に於ては相當に大なる斷層も粘性係數等の變更の下に割合均一組織の如く見て推論を下し得べし。

かくて大規模のものに於て實際に現はるゝ粘性は標本岩石の分子的粘性と異なるは明なる故に強ひて岩石を以て我等が實驗材料となす必要なく、否寧ろヘルムホルツ等に依りて明なるが如く規模を變じたる模型に於て幾何學的類似ある實驗を試みんとする、同一の材料を用いる事は絶対に目的に反し到底相似形を得るに由なきことを知るべし。故に岩石素材の研究も勿論絶対に必要なれども、余等の目的に對しては寧ろ全く別種の材料を用いる方妥當なり。併し岩石以外の材料なれば何でも良しと云ふにてはなく、與へられたる寸法に對しては必ず最も適當なる一種の材料ある筈なり、然れども此材料を計算上求むる事は岩石の諸實數不明の場合不可能なるを以て、矢張り實驗上地殻に現はるゝと類似せる形象を呈するが如き材料を求めて實驗する外なし。此意味に於て或時はパテ、或時はパラフィン、或時は麥粉等の如きものをも用いたり。

實驗に於ては先づ表面收縮 (area-contraction) による裂罅、表面撓曲 (surface bending) に依るもの、等に始まり、次第に複雑なる場合に進み、特に shear 及 rotation の影響に對して尤も注意を加へたり、此理由は shear 又 rotation が地形等に於て最も重要なりと云ふ考へにては

なく、在來他の力即側壓又は張力等に依る場合は割合に多く研究せられあれども shear 及 rotation の場合は研究割合に少なきに依るなり。

4. 平等則、對稱則 概説 總て裂罅を生ずる場合に於ても、他の突然現象の發生の場合と同じく、是を起す爲の力の働きに支配せられ又破壊すべき物質の現狀に支配せられ、是等の支配の及ばざる範圍於ては平等の法則と偶然なる機會とに支配せらる。例へば表面收縮の場合に於ては之を支配する力は從前の結合を維持せんとする分子力と他の物理的條件例へば溫度の降下、乾燥等の爲に分子自身か又は分子間隙の縮少する爲に起る收縮的分子力となり、是等は結晶體に於て素より其方向によりて差あれども等方體に於ては大體四方一樣のものと見做し得べし、方位に關せざる場合に於て、割目が何れの方向に走るべきかは全く不定の問題なれば收縮の爲の張力が分子間の引力に勝りたる瞬間に於て四方一樣に破裂を生ずべきが如きも、如何なる物質とても絶對に對稱、均質、等質なる事は望むべからず、一次、二次、三次、等の近似に於て對稱、等質なりとも更に高次に於て必や不對稱の箇所あるべく、破壊の危急瞬間に於ては普通の場合に問題とならざる高次の小偏差が有力なる役目をなして其方向に破壊を始むるに至るべし、破壊が一度始まれば、其附近は急速に歪力が緩除せらるゝ爲に其附近は破壊に對して安全となれ共、歪力の急激に加はりし場合に於ては其緩除作用の到達遅き部分に於て別の割れ目を生ずべし、かくて現象は高次の小偏差即世に所謂偶然なるものに支配さるゝも、元來高次の小偏差故其開發の時以外は勢力を逞するを得ず、却つて歪力の傳達の速度と割れ目の發生による是の緩除の速度との關係上生ずる平等の法則によりて支配せらるゝに到るべし、⁴⁾かくて表面收縮の際に生ずる割れ目にありては同時に一點の周に發生したる割れ目は等角又は對稱關係を取る場合多く、既有裂罅を新裂罅が横斷せんとする場合は直交せんとする傾向を示すべし、又例へば圓筒形撓曲の際には平行裂罅を略等間隔に生ずべし。是等の詳細は後に譲るも要するに割れ目の生ずる際一般に平等性從て對稱性の現はるゝは争ふ可からざる事實なり。

第二章 結果の大要

順序として實驗を述べ可きであるが、其詳細は誠に煩雜讀むに堪へざ

4) 此關係は既に數學物理學會大正十三年四月年會の席上 "Two forms of expressions of one and the same principle in Nature," なる題下に講演せられたるも印刷せられたるものなし。

るものであるから、先づ以て實驗の結果得られたる知識の梗概を記して了解を便にする。其爲に各種事實を個條書きにし、之に地形等の實例らしきものを附記する。先にも述べたる如く、之を以て實例の地形を説明し盡したりとするものでは固よりない。

1. 内部からの割れ目は縁邊では夫れに直交せむとする性質がある。是は縁邊に於ては夫れに平行な張力又は壓力のみが存在し夫れに直角には應力がないからであるが、一と口に云へば割れ目は對稱的傾向を取る性質があると云ふ事からも説明し得る。

2. 一つの割れ目が既存する割れ目と交らんとする際にも縁邊に於けると同様に矢張り直交せむとする傾きが有る。

3. 割れ目が幾つも生ずる場合には他に之を束縛する事情のない限り相互に略等間隔を保つ。大きな割れ目は大きい同志、小さいのは小さい同志に大きいのも加へて略等間隔を保つ、平行裂罅にも輻射狀裂罅にも同じ法則が行はれる。日本島弧上にも此種類似の斷層線又は弱線群が略等間隔を保つて居る事は良く知られて居る。

4. 外部からの力で縁邊丈が割れる場合には必しも縁邊と割れ目は直交しない。多くは弧狀をなし、時には弧狀群によりて青海波模様となる。弧の兩端が縁邊と同一な角度で斜交する。故に一端丈では對稱ではないが、兩端併せて見れば同じく對稱性を現はして居る。此れに類似した形がノルウェイの西の海岸線、カナダの西岸、智利の西岸にも現はれて居る。

5. 内部の一點から數個の割れ目が出發する場合には各割れ目間の角度は略等しくなる傾向が有る。之は(3)の一例であるが、此種の割れ目が數多の點から發して出來るブロックは所謂龜甲型の様なものをなし易い。ブロックは四角五角六角等になり易い。

6. 底又は周圍で支へられた板が面積の一樣な收縮によりて上記の様な龜甲型ブロック群を生ずる。但しブロックの形を支配するものは均一な物質では其周圍の形であり不均一な物質では其中に割れ目の核となる可き異質の分布状況に基づく。收縮が一樣でない場合にも夫れによりてブロックの形及大きさに不規則性が現はれる。

7. 面積收縮が漸増する場合には或極限に於て第一次の裂罅に依る第一次の大ブロックが出來、更に收縮が進めば第二次、第三次と次第に規模を小にする裂罅従てブロック群が出來る。即裂罅群に於ても親子現象

が伴ふ。

8. 一つの主裂線が先づ生じ其裂線から内部に向つて支裂を發生する場合には支裂は主裂と直交する場合もあるが多くは斜交する。直交する場合は主裂支裂が壓力及張力裂罅の關係の時であり、斜交するは是等に對して剪力裂罅となる場合である。

9. 圓壘形撓曲に依りては平行裂線が出來、圓錐形又は圓頂形撓曲に依りては輻射狀及同心圓弧狀の裂線群が出來る。

10. 面に沿ふて歪力が働く場合に雁行裂罅が出來易い。雁行に就ては主線の右に雁行裂罅の有るものを負とし左りに偏するものを正とする。歪みは主線に沿ふ單純歪力と見て其れに伴ふ廻轉が左まわりを正とし右まわり即時計まわりを負とする。以上の定義の下に雁行裂罅の法則は次の如きものである。負なる張力雁行裂罅と正なる壓力雁行裂罅とは共に主線に沿ふ負の歪みに伴ひ。正なる張力雁行裂罅と負なる壓力雁行裂罅とは共に正の歪みに伴ふ。雁行が火山列又は斷層等に顯著である事は良く知られて居る。

11. 張力裂罅は漸進的に成長し得る。此際外力の方向を轉換すれば一時成長を中止し裂罅は閉口し、更に弱線らしき模様を現はさず、却つて別處に新裂罅を生じて成長するが、更に外力の方向を變じて復原すれば、今迄眠り居たる裂罅は又成長を始め、一方の裂罅は休止する。餘震の發生に於て地震帶相互活動を示すが如きと似て居る。

12. 單なる剪斷裂罅は漸進的で有り得ない。漸進する場合は雁行をなし、其雁行の各節毎に全部的瞬間的に割れる。特に壓力によつて剪斷の起る場合は雁行性を示す事少なく。全破面が衝動的に瞬時に生成せられる。分割せられたブロックは衝撃を受けて飛躍せむとする。激震は恐らく此種の破壊に依るであらう。

13. 張力に對しての破壊限度は地塊其他多くの物質に於て壓力に對する限度よりも低いから張力裂罅が最も普通に起り、且小規模に起るが、壓力裂罅は稀に起り、且起れば大規模である。要するに壓力は物體の一端に加へられた場合比較的遠方迄傳達せられるが張力は其加へられた附近で裂開を起し易い爲に遠方に傳達する事が少ない。地震等の際で實見せられる雁行は多く張力裂罅であるに反し全局として見た大雁行は壓力裂罅である事、火山列等も多く壓力雁行裂罅をなす事等は、皆此性質から説明出來る。

14. 撓曲に依る破壊に於ては一意的な變位に對しては破壊しない場合に、一旦、力を緩めて逆向きの力を加へれば極めて僅かの變位で破壊する現象がある。物質によりては其程度が異なり或物質では此現象が著しくないものもあるが或物質では力を緩め切らない中に既に破壊の起る様なものが有る。勿論初めの撓曲は弾性の範圍を遙かに超へ破壊の極限に可なり近付いたものであるが、其引き歸す點と極限との差にも關係する。他種の破壊にも恐らく同様の現象が伴ふで有ろう。

15. 板を其面に沿ふて撓曲した場合又は硝子棒の如きを撓曲して破壊を起した場合に其破壊面が最後の小部分で斜走する場合が多い。直角に起る主たる破壊面は張力裂罅であるが最後の斜走破壊面は壓力の結果起る剪斷面即剪斷力による滑り面である。以上の中表面收縮、撓曲、等に關する實驗の概要は次の第三章に記し(10)の雁行裂罅に關する法則は裂罅(斷層、火山列等も一種の裂罅と見る)の形よりして力の關係を判斷する上に重要であるから少しく綿密に研究する必要を生じた。それに就いては第四章に述べるが如き諸實驗を行ふた。

第三章 表面收縮、撓曲、歪割れ等の實驗

1. 表面收縮に依る皺及裂罅 この種の事象は常に目撃する處のものて例へば田面沼澤等の乾固する際に現はれる龜裂の現象である。而して其形は所謂龜甲型をなして對稱的に配列するのが常である。然し環境の相違によりて又は物質を異にすることによりて必ずしも龜甲型を呈するとは限らない。次に第一圖より第四圖まで實例を示す。

第一圖(Pl. VIII)は第八圖に示す装置に亞鉛華粉末を水にて捏り塗り上げたものを室内に放置し、乾燥して生じた割目である。中央の大割の部分は薄いゴムの膜に乗り。小割の部分は堅固な武力板に乗居る。厚さは中央が厚く約 1.5 耗にて端は殆ど厚みを有せず、割目を見るに小割の部分の大割に會する所は多くは直角をなす事が認められる。

第二圖(Pl. IX)は小茶碗の底に墨汁の乾固して生じた割目である。一見放射狀の割目は最も著しくこれに同心圓をなせる如きもの直交し、爲に長方形形状のもの最も多く現はれて居る。

第三圖(Pl. IX)はヘットの凝固して生じた模様であり、白線に沿ふ黒線は其割目である。模様及割目の角の鋭くないものゝ例である。

第四圖 (Pl. X) はペイントを小茶碗に入れて放置せるものに生じた表面の皮の皺の模様である。

2. **Conical bending による皺及裂け目** 第五圖にこの種の一例を示す、圖は厚さ 2-3 耗のパラフィンの板を水平に支へ兩面を自由に保ちナイフの刃の方を手にして柄の一端を以て打撃を加へた時生じた割目である。圖には 9 回の結果が出て居る。小班點は板を作る際自然に生じた模様にて打撃とは無關係のものである。17 回の實驗の結果は放射狀に射出して居る重なる割目の 3 本ありしもの 7 回 4 本のもの 5 回、2 本のもの 1 回あり、裂線の明瞭を缺くもの 3 回、黒點となりて裂線の射出を見ざるもの 1 回あつた。斯く相違を來した主なる原因は打込の角度及其強さの區々なりしに由る。猶裂線の射出數 3 本あるものにつき其互になす角度を概略測りたる結果は 120° の場合最も多く次に 90° の場合のものも多少見られた。又 4 本の場合には 100° 附近最も多く、次いで 75° のものも多少あつた。

3. **Cylindrical bending による割目** 第六圖 (Pl. X) はこの一例である。圖は道路工事中泥土の地面をローラーにて地均中に生じた割目にて略平行をなして居る。猶この際ローラーに幾分の傾きありて割目の一部に放射狀即ち conical bending に依ると思はるものも見られた。

4. **Plate の one directional tension 又は compression による割目** (圖は印刷せず) 甲圖、乙圖は共に compression に依る例である。此實驗は泥土 (水を加へた) を四ツ切バットに入れ未だ乾固せざる中に二枚の武力板を其表面に乗せ、その間に空地を作り、その部分には寫真に撮る便宜上亞鉛華粉末を振りかけた。又一方にパラフィンの融液を用意し之を一回に表面に流し凝固した後、矢印のある板を矢羽の方向に即ち他の板に直角に且つ水平に押した場合である。其結果は押板の近くに撓曲を生じその頂上の線に沿ふて割目を生じた、割目には雁行性は認められない。撓曲による皺の傾斜は押板の側は殆ど直角をなし他の側は緩である。

5. **Simple shear による割目 實驗 1.** (圖は印刷せず) カビネ型乾板を縦に約 1 糎の間隔を以て薄いゴム膜にて連結した。この上に麥粉の泥 (水にて捏り) を一樣の厚さに幾重にも塗り重ね室内に置き常溫の下に乾燥した。丙圖 (1) は其形狀及乾割を示す。(2) は矢印の箇所を木片を當て其上部より、數回に亘り次第に力を増して打撃を與へた。爲に A の部分に tension crack (角度は下底のガラス板の椽即ち中央線

に對し約 40°) を生じた。猶この外に乾割の tension crack の向きに一致して存在せるものが發達した。(3) は更に稍強く 2 回打撃を與へた場合にて硝子縁は多少破損した。爲に既成割目は成長し、又 (B) (C) に新たな tension crack を生じた。(4) は打撃の箇所を矢印の所に變へ以前に増して更に 2 回打撃を加へた場合にて硝子板は大破した。勿論既成裂罅は成長し、特に著しく開口した。猶 (D) (E) に tension crack を新生し、又 (X) (Y) (Z) に compression crack らしきものも見られた。

實驗 2. (圖は省く) 1. の場合の硝子板をゴム板 (厚さ約 1.5 耗) に代へ一側の板を台に固定し他の側に打撃を加へずに手にて徐々に力を與へた。試料には同じく麥粉泥を用ひた。始め巾を狭く塗り乾固して後周圍を塗り、後者の乾燥せざる中實驗を行ふた。(2) は約 1 糎押した場合にてゴム板は多少浮き上り、割目は生ま乾きの邊りに slip line に沿ひ slip crack を生じた。猶ほ渦巻様のものも見へた。この部分の内部には未だ粘性の有る物質の存するに由る。この場合少しく内方に向けて押したにも拘はらず tension crack となりて現はれたることは注意すべき點である。實驗後測りたる試料の厚さは十分乾燥せる部分は 1-1.5 耗。半乾きの部分は 1.5-2.0 耗であつた。

實驗 3. (圖は省く) 2 と同一實驗にて只試料の表面のみ硬くした。それには麥粉泥を一様の厚さに塗りたるものに火熨をかけて狐色に焼いた(2) は力を加へた場合にて境界線に沿ふて割合に大なる tension crack が數條雁行し、猶ほ割目に直交する數條の皺の狀況を示す。

實驗 4. (圖は省く) 裝置は 2. を使用する。白墨粉末を作り。これをアルコールにて泥となし筆に含ましてゴム膜上に塗る、厚さは約 0.5 耗。(1) は其表面を示す (2) 力を加へて、中間に tension crack の雁行が現はれ猶 compression による皺が可成の間隔を有して四條位現はれた、(3) に至ては tension crack, compression crack 及皺が可成著しく發達した。

實驗 5. (圖は省く) 4. と同じ但し試料の厚さを 2-3 耗となし一夜室内に放置した。圖の (1) 十分乾燥せざる中に乾割を生じた。(2) (A) (B) (C) (D) 等に tension crack を生じ、且乾割の中之れと同一 sense にあるものも亦發達した。(3) 是等の割目は更に成長し尚ほ compression に依る二條の褶曲を生じその峰に割目を生じた。(4) は (3) の試料を取除き底のゴム板及ゴム膜の皺の模様を示す。

實驗 6. (圖は省く) (4) (5) に使用した白墨の粉は全く粘性を缺く故にこの粘性を補ふ爲に麥粉を等量に混じて使用した。一夜室内に放置し翌朝時々日向にさらして乾燥す。十分乾燥せざる中に實驗に供す。(1) は表面の模様を示す、黑色の濃き所程濕氣を多く含む。(2) 兩端に特に著しく tension crack の雁行現はれ又皺曲も相當發達せり。(3) 裂罅及皺曲共に増大す、柔弱なる爲め compression crack は現はれ難し。(4) (3) を更に乾燥して力を與へたるも (3) と殆ど大差なし。

實驗 7. (第七圖 Pl. XI) 白墨粉末及麥粉の混合物(割合は 4:6)をアルコールにて薄い泥を作り筆の穂先にてゴム膜面が僅かに隠るゝ程度に塗り乾燥後更に薄く塗り重ね室内に放置乾燥した、最後に 15 分間位更に日光に當て乾割の二三生ずるに及んで室内に取入れ直に實驗に供した。厚さは約 0.5-0.2 耗である。圖の (1) は試料の狀況を示す。左半の薄し黒き部分は未だ十分乾燥せざる處である。

以下の圖は矢羽の方向に順次に力を加へた場合の變化を示す。(2) 先づ tension crack を生じ見事な雁行を呈す、次いで皺が現はれ A の皺の上部には三條の小雁行の tension crack を生ず。(3) 皺の達發著しく其峰は割れて綺麗な compression crack を現はしてゐる、これ等は tension crack と略直交をなす。(4) compression の方特に著しくなる。

實驗 8. (圖は省く) 實驗 7 より幾分厚さの厚い場合にして白墨粉、麥粉を約半々にアルコールにて捏ね、ゴム膜上に流し約二十分間室内に置き表面が幾分乾き始めし頃筆先にて表面を均らした。厚さは約 0.6 耗である。(1) 乾割れ、(2) 乾割を基に又は新たに tension crack を生ず。(3) 隆起部の皺の頂きには compression crack も見ゆ、(4) compression crack 増々發達す。

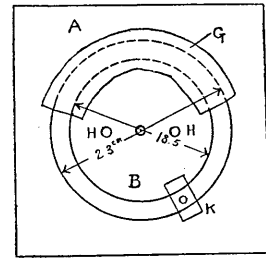
實驗 9. (圖は省く) 柔軟なるヘットを稍部厚にゴム膜上に塗り其表面に亞鉛華粉を水にて捏ねたるを流し筆先にて表面を平らに均し、室内の通風の良き所にて乾燥した。(1) 乾割を生ず、(2) 皺は下のゴム膜に依るものにて割目は亞鉛華のものである。(3) tension crack 著しくなり又皺に沿ふ割目も出來始めた。(4) 皺に沿ふ割目大となり tension による crack も益々發達す。

實驗 10. (圖は省く) 亞鉛華の捏ね物を約 3 耗の厚さに塗り其表面に十分に熔融したるパラフィンを流し込み凝固してより實驗せり、パラフィンの厚さは 0.1~1 耗である (2) は少しく力を加へた場合にてパラフィ

ンに tension crack を生ず、(3) (4) は既成割目の發達するのみにて新生のものなし。

實驗 11. (圖は省く) 實驗装置を變へ、四ツ切バット中に普通の泥土を以て泥を作り二枚の武力板を 2 糶の間隔にて乗せ濃厚なるワニスの液を其間隙及武力板の上に流し一様の厚さに行き渡らせ表面に膜の張るを待ちて實驗す、實驗は一方の板を手にて支へ他方をこれに平行に浮かさぬ様徐々に押した、(1) 表面の模様。(2) 壓力による皺と張力による割目を生ず。(3) 兩方共發達す。(4) 結局割目は皺に平行せり。以上要するに總て第七圖に示せる所と大同小異の結果を得た、即雁行に於ては張力皺が先づ生じ壓力皺も生じ壓力皺はずつと後に出来る事がわかつた。

6. Rotational shear によるもの實驗装置の概略は第八圖に示す、A は武力板にて中央を圓形にくり抜き木の臺上に固定す、中に他の B なる武力の圓板を圖の如く取付け H, H なるハンドルにて自由に回轉せしむ、猶任意の位置に止める爲に K のクランプを付す。又 AB の上半の間隙には G なる薄きゴム膜を貼りこの上に試料を塗りハンドルを回して shear を與へるものとす。



第八圖 弧狀雁行を作る装置

Fig. 8. Apparatus used in the experiment of shear along a circular arc.

- G. thin rubber plate.
- H. handles.
- B. rotatable metal piece.
- A. fixed metal piece.
- K. crump.

實驗 1. (圖は省く) 亞鉛華、麥粉を等量に (重さにて) 混じ水にて捏り、室内にて乾燥す、全面乾き切らず多少の濕氣を残す中に實驗に供す、厚さは約 1 耗あり、圖の (1) の右左端近くに乾割あり、(2) 矢の方向に回轉す、皺 (底のゴム膜に生ずる皺) 及 tension crack を生じ、大なる割目は乾割を基に發達せるもの二箇所、新たに生ぜるものは一個所にある。小割は主として皺上に群生し、而して大勢に於ては皺に直角に交はる、又皺の峰に沿ふ割目も見へる、(3) (4) 皺の峰に沿ふ割目の發達特に著しく小割はゴム膜の全面に互りて一様に配布してゐる。茲に注意すべきは峰線に沿ふ割目は compression crack と同じ sense なれども從來の實驗に於ては compression crack はゴム膜の皺には殆ど支配を受けざる場合が多かつた然るにこの場合に於ては全然ゴム膜上の皺の頂きにのみ生ぜる故に從來の compression crack とは多少趣を異にする事である。

實驗 2. (圖は省く) 實驗 1 の濕氣多き場合に於て A 板とゴム膜の接する線に沿ふて小 tension crack 雁行して生ぜるのみにて他には余り割目を見ず皺の模様は實驗 1 と全く同じ只回轉の向きを異にするのみ。

實驗 3 (第九圖 Pl. XII) 實驗 2 と同じ條件の下に行へるものにて實驗 2 に於けるが如く、割目は左方に少しく現はれてゐる、皺を横斷する tension crack 一面に生ず皺の峰に沿ふ crack は認められない。

實驗 4. (圖は省く) 試料前者と同じ、戸棚の中に二日間放置し十分乾燥せしむ、厚さは 1~2 耗である。(1) は乾割の模様を示す。(2) 乾割を基に割れしもの他に tension crack の雁行列凡そ二列をなして現はる。(3) 既成の割目成長せる以外に皺を横切り雁行をなす tension crack の新生あり。又皺の頂に沿ふ compression crack もあり。(4) 既成裂罅は凡て發達す皺の數從來の實驗に比し數等少なくゴムノ皺とは關係なきものゝ如し。

實驗 5. 第十圖 (Pl. XIII) 試料にパラフィンを使用す。(1) 其表面(2) 皺は殆ど生ぜず。割目の數少なきも右端より左端に略中央を殆ど一線にて貫て居り其間に小割目の雁行するものあり。

以上各實驗の結果は前節に於て見た所と大差はない雁行が弧狀に起つた丈の違ひである。尙面積の縮小なした摺曲の著しい發達が起り得る。

7. Diagonal compression による shear crack この實驗裝置の大略は第十一圖に示す。圖に於て X はハンドルにて其回轉の向きにより Y (高さ 1.5 糎の眞鍮角棒) は前後に進退す、即ち Y は框の頂點 A を押し込み或は A の頂點を離れる。A C E G の框は正方形をなし、B.H は各邊の中央をなし、CD は ED よりも、稍々長く又 ED は EF と同長である。是等の邊は同一眞鍮の角材より切り取りたるものにして各邊は ボルト及ナットを以て連絡す、始め ABC を一邊として使用せる場合に B をナット一ヶのみにて締めたれども十分に抑へる事出來ず後に B に添金を渡し B 及其兩端の三ヶ所を十分に締めた。(圖には省く) D, F, H, に於ても同様の事が出来る、又 CEG 角を一定に保たんとせば E のナットを締めるは勿論この外に EF, ED に適當の間隔を以て板金を渡し即ち三角形を形作りて兩端を各片に締める他の角に於ても同様(圖には省略) I は框の支點に過ない、K は木の臺の縁にて高さ約 4 糎あり、框以外は凡てこの木の臺に固定してある。

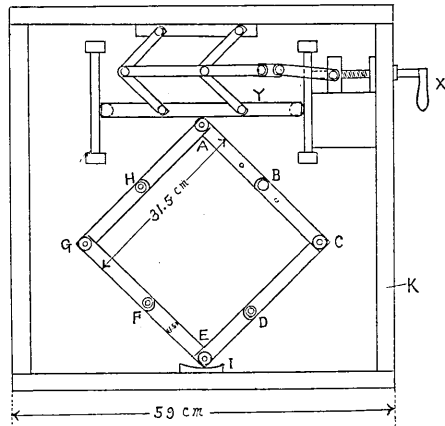
試料には多くはパラフィンの板を使用した、板の大きさ及厚さ等には裝

置の大きさによりて自ら制限を受くるので手製となした、大さは 27 糎 × 27 糎にて框に丁度一杯となる程度とし厚さは実験毎に適當に變へた、板を作るには鑄物の鑄型に倣ひて先づ二枚の硝子板を重ね其間隙は縁に沿ふて挿入せるボール紙の厚さを以て決め、湯口を残して縁は凡て西洋紙で貼り特に底に當る處は二重三重に丈夫になしてパラフィン融液の逸出を防いだ、パラフィン可成り一様に流し込んだ、次に(但しこれには例外もあるが)室内の温度にて凝固せしめた、この実験は冬期寒冷の時に行ひし故パラフィンを注ぎ込む時は煖爐の傍にてなした。殆んど、同一操作をなせるにも拘はらずその結果全く同一ではなかつた。同一物に於てすら一

様の厚さのものは得られず多少の厚薄は免かれ得なかつた。特に凝固して後生ずるパラフィン板の模様著しい相違があつた。これ等の模様はパラフィン熔融温度、硝子板の温め方、室内の温度、注ぎ方、冷し方等の諸條件によりて左右されたらしい。

次にこの板を実験に供するには始め実験框に半紙一枚にて底を作り、試料の底を持たせ板と框と間隙には別に熔融パラフィンを作りて注ぎ込み其間を埋め同時に板の縁を補強する目的にて幾分高くした。

実験 1. (第十二圖 Pl. XIV) 框の下に紙を貼りて底を作り、これを白墨の粉を敷いた上に乗せパラフィン融液を注ぎ手を以て框を前後左右に揺り動して均一に行き互らした、この際紙の裏面にパラフィン融が滲みで出大部分の粉を共に凝固した。これ等は後に丁寧に剥取りしも取り盡す事を得ず。寫真に見ゆる如く黒く點々として残つてゐる、厚さは約 0.5 糎にて中程は幾分これよりも厚い、実験は A, C, E, G の頂角を自由になし他は凡て締めた CG 對角線に直角に A を徐々に押す、始め a に割目を生じ力を増すに連れて成長し、又一方少しく喰違ひて b に新たに割目が生じたこれと殆ど同時に b' にも現はれ共に成長し b' は間も



第十一圖 框を押して歪みと與へる装置

Fig. 11. Apparatus for producing shear by pushing the frame.

なく成長止み、bのみ急に發達してcに延びb'と合した、又aもbに合し、この間三回びりびりと音を發した、最後にaよりdなる枝が出た。是等の割目は對角線CGに沿つて隆起した皺の上に生じたものである結局側壓による撓曲裂罅が出來た。

實驗 2. 第十三圖 (Pl. XV) 實驗 I に同じ只パラフンを注ぐ時、底の紙面を浮したるを異にす、爲にパラフィンに底に滴粒となり凝固した、寫真にても明かに其模様が窺はれる。aはこの滴粒を取り去んとして誤て作た割目である、厚さは裂線の内側は約1.5耗外側は1耗前後あり。裂線は側壓による撓曲の爲に對角線に沿ふて横に走る可かりしものが、厚さの小なる方にそれてCに於て撓曲裂罅を生じた。始めbの個所に小割目が三條雁行して生じ、これは力を加へても其後餘り發達せずその後は撓曲大となり、其の峯に沿ふ裂線が現はれた。又既成のaの割目には何等の影響も及さなかつた。只最後にAC邊と臘板との間に少しく隙間を生じたのみである。b, dは剪斷裂罅で、稍々張力雁行を示して居る。

實驗 3. (圖は省く) 試料パラフィン板厚さ約3耗。

(1)は表面を示す數條の縞目は板を作る際にパラフインを幾回にも斷續して注入した結果生じたものである。B, D, F, Hを締めGに直角にAを押す、其結果を(2)に示す、割目の大部分は各層の境に沿ふて發達し、甚だしき箇所は遂に剝離した、又中には層理に關係せず出來た割目もある。

實驗 4. (圖は省く) パラフィン板厚さ約3.5耗 A, C, E, G, を緩め他は凡て固定す、AをGC線に直角に徐々に押した。圖の(1) a, a'に割目を生じ次いでb, b'を生じた、又cに微な割目を認められたがこれは少しの成長をも見なかつた猶數條の皺の如く見ゆる縞は框の底をなす日本紙の歪力を受けて出來た皺で別段上部のパラフィン板の割目には影響を及ぼさなかつた。(2)は一層實驗を進めたる場合にてbは延びて縁に達し直に反射してdを出しdの少しく進みし頃はb'は發達してeとなり又一方fに新たに割目を生じgに進んだ、gのeに合する頃はdは縁に達し反射してhを出し、更にfよりiの枝が現はれeは縁に於て反射してjとなつた。即ちこの場合に於ては diagonal cracks 以外 marginal cracks をも合せ生じて居る。

實驗 5 (圖は省く) パラフィン板厚さ約3耗、A, C, D, Fを緩め他

は全部締める。A を押し E にて支へる、(1) 実験前 (2) a に割目現はれ瞬時にして、他の縁に達す、殆ど同時に a' にも現はれしがこれは成長せず。猶加力中に b の割目が出来た、其後は A の頂角の處碎けて浮き上りしのみにて他には割目を見ず、猶十數條の略平行してゐる模様は底の紙の皺である。

実験 6 (圖は省く) 十分に乾燥せざる粘土板、A, C を緩め (他を固定す、A を押す、a, a' は最初よりありし割目、始め b の處高まり頂きが割れ次に c の處が高まり c には雁行する小割目を生ず、即ち二條の大なる皺を生じ其頂きに割目を見た場合である。

8. Marginal crack. 実験装置及試料のパラフィン板の製法等は 7. に同じ。

実験 1. (第十四圖 Pl. XVI) パラフィン板厚さ 2.5 耗~3 耗、A, C, E, G の角を凡て緩め、A を押す、(1) 実験前、(2) 少し押した場合、先づ a の割目を生じ、次いで b の枝を出し b が縁に達して反射し c' と延びる頃は既に c の枝が出てゐる。(3) より進めた場合にて c より e の枝を出し又 c は延びて d となり d の處で更に小さい枝を出してゐる。この実験に於て割目は c' を除く外は凡て山の峯に生じた、猶ほ割目の枝は本の割目の中間より出てゐることも一の特長である。又 marginal crack の通有性とも見らるべき事は割目が良き對稱をなして順次に發達する事である。(3) (圖は省く) 數條平行せる皺状のものは前にも屢々説明せる框の底紙の皺である。猶ほ力を加ふるに峯は高くなり f は幾分内側に彎曲して他の側に達したるのみにて他に大した變化を見ず。

実験 2. (圖は省く) パラフィン板厚さ 3 耗前後 A を押す、a に割目を生じ急に延びる、次いで b, c と新たに割目が出来た。以後は縁が碎けて浮上るのみにて他の個所に新たに割目を見なかつた。

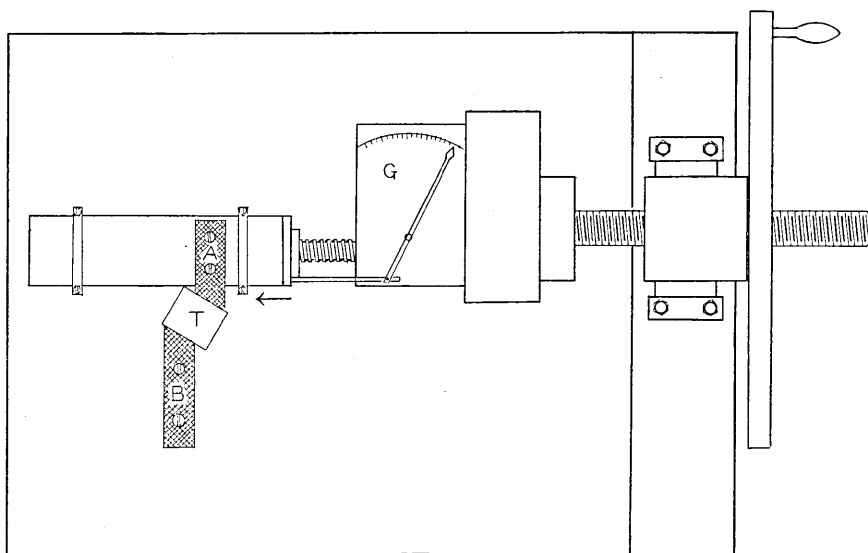
実験 3. (圖は省く) 実験 2 と同じ條件にて繰返せしものである。割目は a, b, c の順に生ず、板の模様はパラフィン板を作る時凝固する際生じたるものである。

9. 其他の実験 以上の外歪力を往復的に施した実験、夫れに關聯して居る場合の破壊等の実験も試みたが、詳細の説明は煩はしいから茲では省く事にする。又撓曲による割れ目の最後に於ける斜走は今尙實驗解析中の部分があるので他の機會に譲る。又豫め弱線を有するブロックの破壊に就ても他の機會に於て報告する事にする。

第四章 振れを伴ふ側圧の實驗

本章に述ぶる處のものは物理學的精密實驗の手段に依らずに極めて簡單なる装置の下に試みたる數種の實驗の概況及其結果である。

1. 装置 試料としては麥粉を次に記す操作に依りて壓縮して作つたものを使用した。先づ麥粉を三四日間日光の直射する通風の宜しき屋上にさらし時折り混ぜ返して十分乾燥せしめたるものを梘にて杵型の中に計り取り 1.2 糶の厚さとなし表面を軽く均齊し 1.3 糶の厚さを有する眞鍮板を蓋に乗せ壓縮機にかけ略々一樣の速度（約操作の始めより終りまで 10 秒）を以て所定の全壓力約 15000 瓦に至るまで壓縮を續けその後は約 15 分間機械を止め放置した。この間に壓力計の指針は多くの場合 15000 瓦より 14000~13000 瓦まで低下した。蓋板の大きさは 15.7×12.0 糶なる故に約 80 瓦糶²の壓力を以て壓縮したことになる。麥粉は壓縮の結果約 6 糶（半減）厚さを減少し脆弱なる板狀（厚さ 6~6.5 糶）となりその四周は杵椽の影響を蒙り幾分軟弱となり實驗試料としては硬度に均齊を缺く爲めそれ等の部分を取除き内部の良好なる部分を選び使用した。併し時には堅さ及厚さに於て幾分不均一なるものを用ひたる場合



第十五圖 實驗裝置略圖（平面圖）

Fig. 15. Apparatus used in the experiment of the oblique compression

もあるが其等は凡て不良の結果を與へた。試料片を作る際は十分の注意を拂ひ一定の巾に且其兩側面（金屬の押し板、及受板に當る面）が表裏の二面に直交する様に仕上げた。それには先づ水平なる臺上に所要の巾を有する木の臺（巾 39 耗）を置きその上に幾分の餘裕を持して切取た試料を乗せ定規の一邊を水面の臺に當てこれに直角の邊を以て木臺の側面に觸れるまで注意して削磨した。

第十五圖は實驗装置の略圖（平面圖）で、T は試料 A は押し板、B は受板である。受板は木ネジを以て臺上に取付けてある。A はハンドルの回轉に従ふて矢印の方向に進行する。A、B の表面の高さは試料面上より 4-5 耗高く出て居る、AB の板は眞鍮製にて試料片を叩へる面は細な目のヤスリにて平らに仕上げてある。押し板を壓す軸のネジ山のピッチは 2 耗であるが測力計 G の縮みのある爲め一回轉に 2 耗の進みはない。

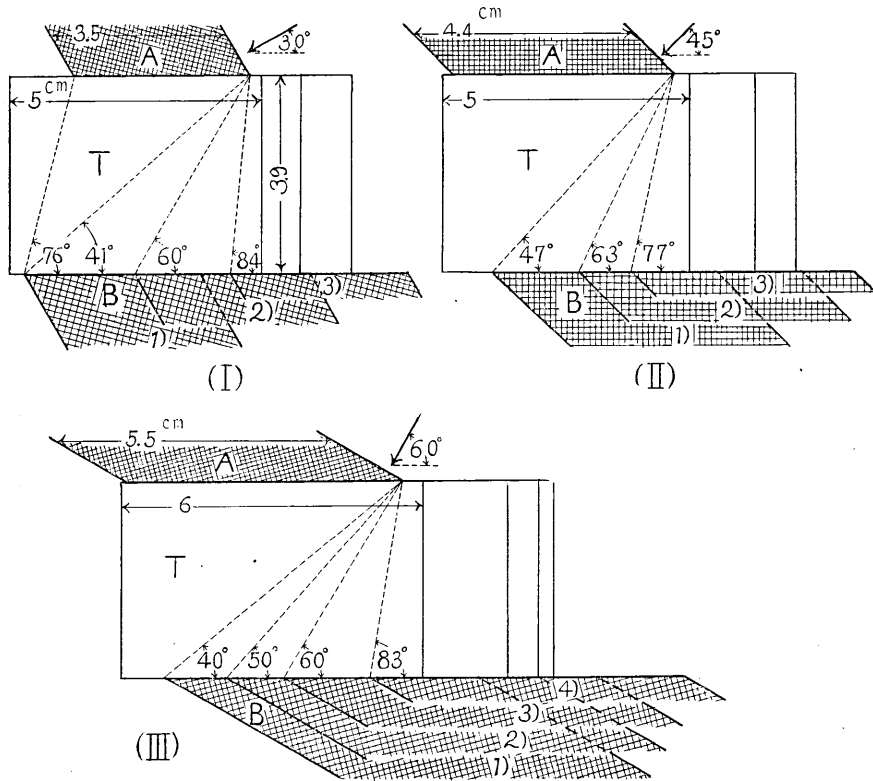
2. 實驗方法 は第十六圖に示す如く A、B の位置を夫々變更して試みた。ハンドルは手廻にし一回轉 7-8 秒の割合にて極めて徐々に斷續して回轉し割目を生じて實驗に一段落を遂げたる場合は急速にハンドルを逆轉し力を緩めた。併し割目の生長の緩かに現る場合は一時、力を止め、その模様スケッチを取り、更に力を加へて其の後の經過を見た場合もある。

實驗は押し板の試料にかゝる力の向きを (I) (II) (III) の三種に類別し、その各々に付いて押し板と受板との距離の關係を 1), 2), 3) 種に (III) の場合は 4) まで變へて試みた、それ等力のかゝる關係は第十六圖に示す。

以下に記載せる割目の觀察は主として其表面に現はれたる狀況に基き數種の型式に分類し記せるものである。

3. 實驗 (I) 30 度の角度より力を作用したる場合 (I) の 1) (第十六圖)、十七圖 a、二十三圖 b Pl. XXII 第一表)

實驗回數 24 回。これ等の結果を見るに一見支離滅裂の觀を呈すれども尙ほ仔細に觀察する時は第十七圖 a の如く割目を a, b, c, d, e, f, g なる七種の型式に分類整理することを得。e, f は各々楔狀をなし殆ど例外なく多少の差こそあれ表面を押上げて居る。24 回の實驗中 a 型のみ現はれたる場合は 9 回、b 型のみ場合は 1 回 ab 共に現はれたる場合は 6 回ある。而して ab 共にある場合は必ず e か又は f を伴ふて居る。斯く試料片によりて發生せる割目の型式の數に相違を來したるは作用せし



第十六圖 壓力關係圖

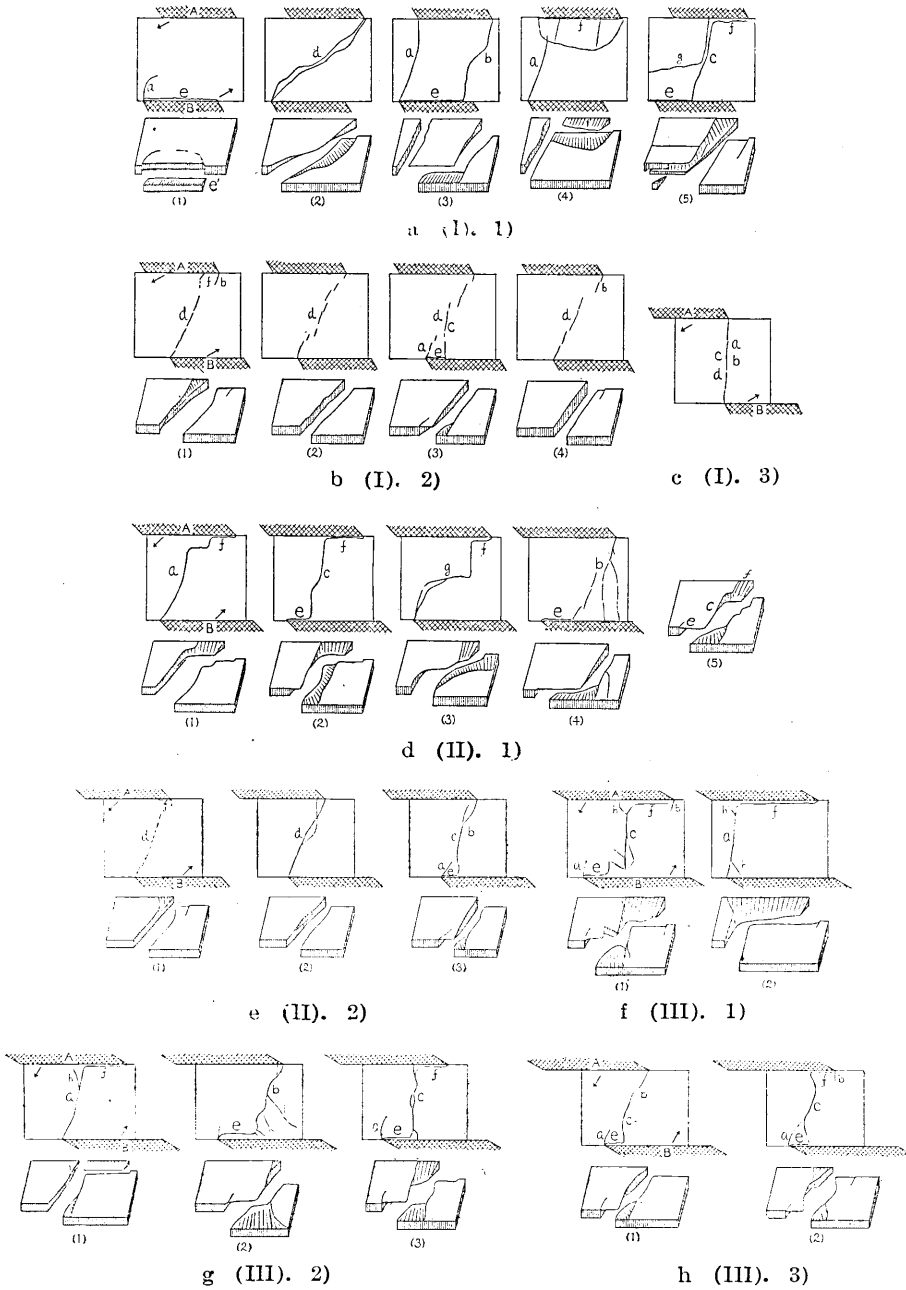
Fig. 16. Classes and varieties of the experiments of the oblique compression.

めたる力の強さに大小ありしことも一の原因であらう。第十七圖には割目の種類の代表的のものゝの實例を示す。圖の上圖は平面圖にて A は押板 B は受板である。下圖は受板を取外しその側より見たる見取圖である。圖の(1)に於て e' は楔狀をなし e の下に押し込みたるものにて a なる割目を誘發して居る。圖の矢印の方向は力の向きを示す。

測力計の読み取は 1-5 疋である。

(I) の 2) (第十六圖、十七圖 b、十八圖、Pl. XVII 二十三圖 a Pl. XXI 第一表)

實驗回數 13 回。a, b, c, d, e, f の六型式を生ず、第十七圖に代表的のものゝを示す。13 回中十七圖 b 圖の(2)に屬するもの 5 回。(2)に屬するもの 5 回、(4)に屬するもの 5 回、以上の中 2 回は割目の成長不十分なる爲め(2) (4) 兩者に算入してある。



第十七圖 偏れる側壓によりて生じたる割目説明圖

Fig. 17. Diagrammatic explanation of cracks produced by skew compression.

測力計の読み取は 1 疋以内。

(I) の 3) (第十六圖、十七圖 c、二十三圖 a、第一表)

この場合は何れの實驗に於ても a, b, e, d 等の諸型式が重り合ひたる直線形で、割目には雁行性は認め難い。

4. 實驗 (II) 45 度の角度より力の作用したる場合 (II) の 1) (第十六圖、十七圖 d、十九圖 Pl. XVIII 二十三圖 a)

實驗回数 16 回この中 2 回は試料不良に依り除外し 14 回の實驗結果より代表的のものを挙げれば第十七圖 d の如し。(e 型のみ現はれ他の型式を伴はざるもの 1 回及 f 型、a 型を生じたるもの 1 回あり、是等は第十七圖 a (1) の如き狀況なる故に圖に省略せり) 圖の (1) に於ける f は表面を少しく高めて居る。(2) に類似せる割目を生じたる回数は 4 回、(3) (4) は各々 2 回あり。(3) に於ては g なる compression crack 特に著し。(5) は (2) の部類に屬し其内部に於ける割れ方の一種の例として示せるものである。

測力計の読み取は 4-7 疋。

(II) の 2) (第十六圖、十七圖 e、二十圖 Pl. XIX 二十三圖 a、Pl. XXI 第一表)

實驗回数 16 回。この場合の割れ方には著しく制限を受け第十七圖 e の如く三つの代表的割目に整理し得る。(1) に屬するもの 7 回。(2) に屬するもの 5 回 (3) に屬するもの 4 回あり。然るに力の加へ方の程度に多少の相違ありたる爲め割目は總て一樣の大きさに發達せず爲に (1) か (3) か明瞭に別け得ざる場合も含まれて居る。

測力計の読み取 1-2 疋

(II) の 3) (第十六圖、第一表)

(I) の 3) と殆ど同一型式である。圖は省略、

5. 實驗 (III) 60 度の角度より力の作用したる場合。

(III) の 1) (第十六圖、十七圖 f、第一表)

實驗回数 15 回、代表的のものを挙げれば三あり。(圖には e 型のみ生じたるものを省略する、この例は 2 回あり) (1) に屬するもの 7 回 (2) に屬するもの 4 回、(3) に屬するもの 2 回あり。

測力計の読み取 5-6 疋

(III) の 2) (第十六圖、十七圖 g、二十三圖 a Pl. XXI 第一表)

實驗回数 15 回。代表的のもの三あり。第十七圖 g の (1) に屬するも

の 7 回、(2) に屬するもの 4 回、(3) に屬するもの 4 回。

測力計の読み取 3-6 瓦。

(III) の 3) (十六圖、十七圖 h、二十一圖 Pl. XX 二十三圖 a Pl. XXI 第一表)

實驗回数 13 回、代表的のもの三あり 十七圖 h の (1) に屬するもの 6 回 (2) に屬するもの同じく 6 回 (3) に屬するもの 1 回 (第十七圖 f、(2) に類似なる故に圖は省略す。)

測力計の読み取 3-5 瓦

(III) の 4) (第十六圖、第一表)

(I) の 3) の場合と殆ど同一型式である。

以上を概括したものが次表である。

第一表 Table I.

實驗種別 壓力の方向 と邊のなす角度	(I) 30°			(II) 45°			(III) 60°			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
押し受け金属片 端の距離mm	4.5	2.3	0.4	3.6	1.9	0.8	4.7	3.5	2.3	0.4
實驗回数	24	13	20	14	16	8	15	15	13	4
裂隙種類	裂隙發現回数									
a	17	12	20	7	12	8	9	13	12	4
b	8	9	20	8	15	8	8	13	12	4
c	5	4	20	7	7	8	13	13	11	4
d	2	7	20	2	10	8			6	4
e	6			9	2		12	9	2	
f	5			9	1		13	9	1	
g	2			2			1			
h	1				2		4	5	2	
i					1		4	3	3	

6. ゴム板の實驗 麥粉の板の實驗に於ては極めて微少なる變位にて既に破壊を來すので其變形よりして雁行の分布状態を、從て如何なる機巧の下に割目を生じて居るかを analysis するには困難である。この爲に

手元にありし消しゴムを試みに使用した。大きさは $6 \times 3.8 \times 1.2$ 糶³ (厚さは 1.2 糶までに削り取つたものである) にて殆ど麥粉の實驗の場合の試料片の大きさと同形である。只厚さに於て前者よりも約二倍の厚みを有する。表面の變位量を知る爲めに 2 糶の間隔を以て方眼を畫き前装置の下に同様の實驗を繰返し試みた。但變位量を明らかに知る必要上前者の場合に比し遙に多くの壓縮を加へた。

同一乾板に實驗前後の形を重ね撮り。(第二十四圖 Pl. XXII に (I) の 2) の例を示す。analysis には第一の點と第三の點を用ひた)。

原板を幻燈にてケント紙上に擴大し各點の變位量 x, y をルーペにて讀み取り analysis を施した。この際 X 軸としては方眼横線中最も直線に近きもの一本を選び、他は之に準據した。

7. 應力の解析 寫真原板の大きさは實物の 1.4 倍にて、擴大圖の原版よりの倍率は 8.7 倍擴大圖の實物よりの倍率は 12.2 倍である。斯く高倍率なる事及重寫なる事によりて擴大された變位量 x, y の讀み取りに當りて 0.1 糶の誤差は免れ難い處である。それで變位量を曲線に畫き突飛なる點の現れたる場合はその前後の點より ± 0.1 糶以内の補正を施した。猶ほこの補正のみにては十分の結果は得られなかつたので更に smooth をなした。それには其點の weight を 2 となし其周圍 8 點の weight を 1 と取り即ち其點の値の 2 倍に周圍 8 點の値を加算し其十分一の値を以て其點の値と見做して analysis を施した。而して算出したるものは次の量に就いてである。

先づ divergence A , shear s を求め

$$A = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y},$$

$$2s = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}.$$

次に strain ellipse の主軸方向の伸縮 r 及其軸の方位角 θ を求めた。

$$r_1 = A + \sqrt{(2s)^2 + (a_1 - b_2)^2},$$

$$r_2 = A - \sqrt{(2s)^2 + (a_1 - b_2)^2},$$

$$\text{tg } \theta_1 = \frac{\gamma_{xx} - r_1}{2s},$$

$$\text{tg } \theta_2 = \frac{\gamma_{xx} - r_2}{2s}.$$

勿論 θ_1 と θ_2 とは一直角の差がある。 θ_1 及 θ_2 を別々に計算して比較するに誤差は總て 1 度以下である。茲に

$$a_1 = \frac{\partial u}{\partial x},$$

$$b_2 = \frac{\partial v}{\partial y},$$

$$\gamma_{xx} = 2 \frac{\partial u}{\partial x}.$$

次に stress difference に相當する主軸伸縮の差 λ 即

$$\lambda = \gamma_1 - \gamma_2 = 2\sqrt{(2s)^2 + (a_1 - b_2)^2}$$

を求めた。

8. 解析の結果 此如き計算を主要點 220-400 點に就いて試み之を圖示す(第十八圖 Pl. XVII 第二十一圖 Pl. XX)。には stress difference の等しき點を實線にて $-\gamma$ 即ち contraction を點線にて $+\gamma$ 即ち elongation を破線にて示してある。又方向は θ_2 の方向を實線で示してある、即ち contraction の方向である。此如き圖を作るには非常に勞力を要する故に總ての實驗に對して試みるを得ず、只 (I) の 2) (II) の 1) (II) の 2) (III) の 3) のみに對して製作した。比較の爲に各其割目の標準的のものを赤にて記入した但し斜線を施せるものと實線のものとは同種實驗に屬する二つの別の實驗の結果である。第二十三圖 a Pl. XXI には是等割目の寫眞を示す。

9. 各種裂罅の本性 以上記する所よりして明瞭となつた事は割れ目 d は専ら剪力による剪斷裂罅で其歪みは割れ目の面内にあるもので、主として金屬片 A 及 B を連ねる線上に於ける剪應力の最大なる帯に沿ふて起つたものである。a, b は矢張り剪斷裂罅であるが金屬片 A 及 B の直接の稜角作用に依るものである、尤も其延長には c 同様張力による部分もある。c は主として張力裂罅である。前後に壓迫せられて左右に擴がらんとする力の爲に起る。

e, f は A, B の重なりの深き場合、及壓する力の角度が面に對して立つて居る場合即 I よりも III に於て、2 よりも 1 に於て多く起り 3 又は 4 の場合は殆んど起らない。是は壓力による剪斷裂罅で其壓縮應力は裂罅面にはなく、罅裂と直角な水平面内に存する。其裂面はつまり垂直と約 45° をなし壓力を受ける側面の水平稜と平行な線即裂線を含む斜面であ

る。只金屬片 AB と試料片との接觸の關係より其接部に近く現はれるが、g の如く全く同じ種類ではあるが中央部に現はれる事も稀にはある。

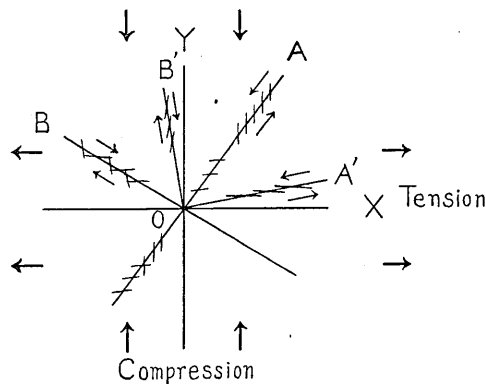
h e i とは c に伴ふ斜裂で多分壓力による剪斷裂罅が縁邊に近く本裂線に 45° をなした垂直面内現はれるものであろう。

かくて表に示した各割れ目の發現回數の分布も明に説明せられる。何となれば圖の第十八、二十と十九、二十一との比較で判る様に押し方によりて壓縮力が顯著となり剪斷力の顯著でない場合と、之に反對の場合とが觀取せられ、前者に於て e, f c, g の如きが多く後者に d が多いので知られる。

偕雁行は主に d に伴ふて起る事は著しい事實で雁行が歪力に伴ふ現象で有る事を示す。かくて第十八圖及第二十圖に見るに雁行裂線の主軸は最大剪力帶と一致して居るが、個々の割れ目は其點の主應力 (principal stress) の方向と一致し此例に於ては其中壓縮方向と一致して居る。之れは即此方向と直角なる張力によりて生じたものなる事を示す。即雁行は剪斷應力の最大帶又は最大線の方角と主應力の方角とが一致せざる時に起るものなる事を知り得た。是れが今回の實驗での一番の收穫である。

此實事より以前に提示した雁行の法則緒言中の (10) に述べたものは必然的のものとして説明し得る。

10. 雁行法則の説明 任意の一點の附近の應力の狀況が第二十二圖に示すが如く大體一方から壓力が加はり之と直角に張力が働きある場合を考へる。壓力の方角は大體 OY に平行であり O を去るに従て次第に少しづつ變はる、張力は同様に大體 OX に平行であるとする。裂線の主軸が第一象限又は第三象限に起つた場合を考へる。其線を OA とする。此線上に張力列罅が出來るとすれば其等は總て OX に直



第二十二圖 雁行性説明圖

Fig. 22. Explanation of the law of echelon formation.

角 OY に平行であるから雁行の向きは主軸 OA に對して左りに偏よる即是は正の雁行と名づけたものである。此場合 OA に沿ふ單純歪力は圖に示す如く其廻轉は左り廻りであり、之を同じく正の歪みと名づけた、かくて正の張力雁行裂罅は正の歪みと伴ふ、もし又 OA 上に壓力雁行裂罅が出來るとすれば是等は OX に平行であり雁行は負となる。即負の壓力雁行裂罅は正の歪と伴ふ。同様に第二及第四象限に就て考へるに此象限では張力裂罅は負の雁行を作るが歪みは OB に沿ふて負である。壓力裂罅は正の雁行を作る、かくて必然的に

正の張力裂罅、負の壓力裂罅は正の歪みと伴ひ、負の張力裂罅と正の壓力裂罅とは負の歪みと伴ふ可きものである。

事が證明せられた。

11. **注意事項** 以上の關係は極めて微妙な點迄實現せられる第十八圖での雁行は大勢に於て三段の正の雁行で勿論法則に一致して居るが更に其中央の一本が其れ自身に雁行小裂罅より成つて居るが、其上端に於て雁行が正となり下端に於ては負となつて居る。一見甚奇怪なるが如くであるが、是を併記した主應力の方向と比較するに、正しく上端では雁行主軸は主應力方向の左り即第二象限に出て居る。即此部では歪みの方向が負であるから當然雁行も負となる可きで、下端は之に反して主應力方向の右に主軸が向いて居るから歪みの向きが正で従て雁行も正となる。

雁行の方向と主軸の方向とのなす角の大小はかくて主應力の方向と最大應力帯の軸の方向とのなす角の大小を示すものである。 後者の角が零なる時即主應力方向と最大應力帯の方向とが一致した場合は雁行は起らない。

雁行の間隔は物質と加へられた外力の程度とに關するものであるが此點は尙研究を要する。以上雁行の法則はかくて極めて一般性を有するものであるから、模型に於ても又實地に於ても總ての場合に於て嚴重に支配力あるものである。

徳田博士の論文にある部分的直線移動によりて起る二列の雁行及先端の横裂又は皺は全く以上の説明を各部に加へれば完全に説明し得る。

以上で本論を終るが尙多少注意を要するは割れ目の出來る時間的關係である。A, B が深く合はせある場合には殆んど何等の前兆なく破壊が突然に只急激に起るが、AB の合せ方の淺く、又力の方向が斜な場合に

は割れ目は多くは試料の中程より少々下方に先づ開口を見次第に上方及下方に伸びるを見た、殆んど總ての場合に雁行を現はした。即是等は結局 d 種又は c 種の割れ目にあつた、尤も稀には縁部より始まつたものもあつたが是は押し金受け金の稜角の作用が主なものであつた。此緩に起る式のものに於ても最後に切斷なされる時には矢張り相當の衝撃は起つた。是等は大地震の際の豫震の有無と考へ合せて興味ある現象で有る。

(昭和六年一月廿日)

4. *On Crack Systems especially those of Echelon Formation.*

By Sakuhei FUJIWHARA and Takeo TAKAYAMA,

Earthquake Research Institute.

There are crack systems appearing on plates. They are:—

(1) Parallel cracks with nearly equal intervals or the multiples or regular fractions. Such cracks are produced by the homogeneous cylindrical bending of a homogeneous plate. When homogeneity either of stress or of material is missed, so far the deviation from the law of equal intervals arises.

(2) Radial cracks with nearly equal angular intervals are produced by the homogeneous conical bending of a homogeneous plate. The law on the equality of the angular intervals is nearly the same as in the case (1).

(3) Concentric circular cracks are produced by the conical or dome-like bending of a plate.

(4) Regular polygonal cracks are produced by the homogeneous isotropic contraction of area of a homogeneous plate, when supported at the basal plain surface of the plate. The elementally polygon can be square rectangle, pentagon, hexagon etc. or their mixtures according to the condition at the base or at the boundary.

(5) Cracks in echelon formation are produced when a shearing stress is applied on a plate. Heterogeneity of stress and of material is favourable to the production of échelons.

Several experiments are made for all the above systems of cracks. Those of (1) to (4) are too simple and need not to give any further explanation in detail.⁵⁾

5) Lectures were given on these before the meeting of the Earthquake Research Institute, Tokyo, but the labour of printing them in foreign language is saved. See text in Japanese, also see "On the mechanism of great Kwantô earthquake etc," *Journ. Met. Soc., Jap.*, 1924 Jan. Also see Leith, "Structural Geology. Joints in Relation to Causal Stresses."

The crack system of échelon formation is most commonly appears in the natural phenomena such as the faults or cracks in the case of a destructive earthquake. Never the less its mechanism of formation is rather obscure. In the present note the method and the results of experiments on the échelon crack formation and allied phenomena are given.

The apparatus used for the experiments is shown in Fig. 15. T is the test piece which is of dimension 6.0, 3.9, 0.6 cm³ and made of wheat powder compressed under pressure of 80 kg per 1 cm² of the surface. The test piece is compressed on from its side obliquely as is shown in Fig. 15 and also in Fig. 16 in which 3 modes of experiments with 3 or 4 varieties each are also shown. Thick arrows show the directions of the pressure which is applied partially on the side of the test piece along the shaded parts which imply the brass pieces in contact with and pushing the test piece. The relative position of the ends A, B of the two opposite brass pieces is important to give characteristic forms to the crack of the wheat plate. The cracks thus produced are classified into 10 groups, which are shown in Plate XVII and XVIII and also diagrammatically in Fig. 17. The number of experiments of each variety and the frequency of the appeared cracks are shown in the next table.

Experiment	(I)			(II)			(III)			
	30°			45°			60°			
Inclination of pressure direction from the edge of the test piece										
Variety	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
Distance in cm. of the ends AB of the brass pieces	4.5	2.3	0.4	3.6	1.9	0.8	4.7	3.5	2.3	0.4
Number of experiments	24	13	20	14	16	8	15	15	13	4
Frequency of the appearance of each crack										
a	17	12	20	7	12	8	9	13	12	4
b	8	9	20	8	15	8	8	13	12	4
c	5	4	20	7	7	8	13	13	11	4
d	2	7	20	2	10	8			6	4
e	6			9	2		12	9	2	
f	5			9	1		13	9	1	
g	2			2			1			
h	1				2		4	5	2	
i					1		4	3	3	

In order to know the stress distribution, a plate of india rubber nearly of the same size with the wheat plate was compressed under the

same condition with the same apparatus. Square net had been drawn on the surface of the plate previous to the experiment and the deformation of the net was photographed at 3 stages in the course of the compression as shown in Plate XVIII, Fig. 24. The component displacements u, v of every point of the net were read off and from which the divergence Δ , simple shear S , rotation R etc. were reckoned.

$$\Delta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}, \quad 2S = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, \quad 2R = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x},$$

$$\gamma_1 = \Delta + \sqrt{(2S)^2 + (a_1 - b_2)^2}, \quad \gamma_2 = \Delta - \sqrt{(2S)^2 + (a_1 - b_2)^2},$$

$$\tan \theta_1 = \frac{2a_1 - \gamma_1}{2S}, \quad \tan \theta_2 = \frac{2a_1 - \gamma_2}{2S}, \quad \lambda = \gamma_1 - \gamma_2,$$

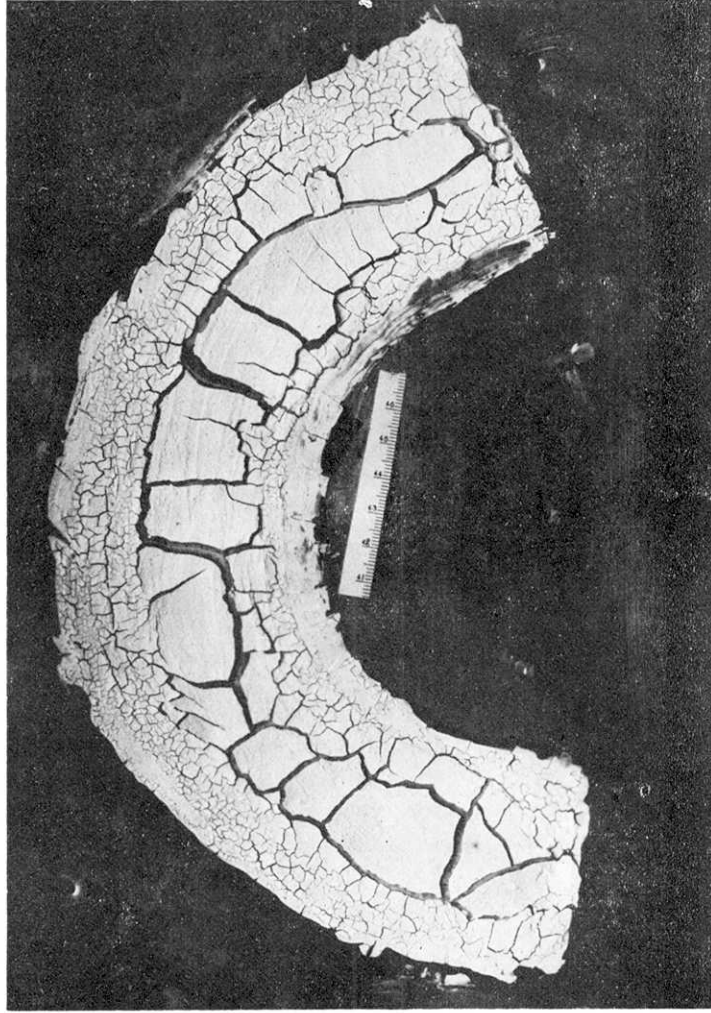
where

$$a_1 = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \text{and} \quad b_2 = \frac{\partial v}{\partial y}.$$

The principal strains γ_1 and γ_2 , their direction θ and the strain difference or the total shear λ were calculated for every point of the net. These values were entered in charts and isopleths of γ_1 , γ_2 , and λ are drawn together with the direction θ . They are shown for selected cases in Fig. 18, 19, 20 and 21. The cracks actually produced are also entered additionally in the chart.

By examining these charts we can easily see that the cracks a and b are products due to shearing stress at the ends A and B of the metal pieces. c are the tension cracks due to the lateral elongation. d is the shear crack along the line connecting the two end points A and B, e and f are products due to the compression against which the breaking limit of shearing stress is first reached along the lateral oblique surface inclined to the vertical with an angle of 45° or about. g is the same as e and f but appeared in the central part instead of at the bordering parts. h and i are secondary cracks of the main crack c making angles of 45° or about with this, having the surface of fracture in vertical planes. They are also the shear products due to the compression and favourably appear in the bordering parts.

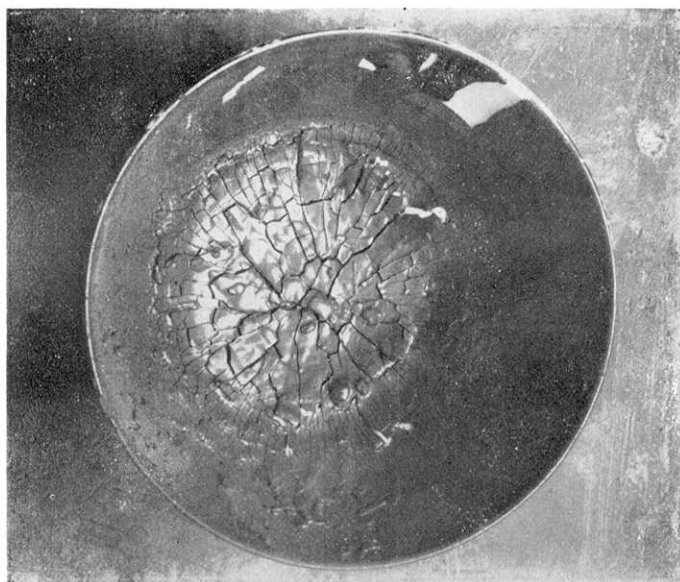
Echelon formation is seen mostly in cracks d, a and b, sometimes with h and i and obviously related with shearing stress which acts in the plane in which the cracks appear. It does not occur in e and f though they are of shear products, because the plane in which e and f appear is the plane of compression for e and f but is not that of shear. Hence we can sometimes see the echelon on the vertical section of the test piece perpendicular to e and f, along which shearing stress is acting. We can see the zone of maximum shear and maximum elongation just in the position of d crack in Fig. 18, 19 and 20. But the direction of the each small crack which composes the crack d in echelon formation coincides well with the direction of principal strain at that part. This shows that the elementary crack of echelon in this case is evidently the tension crack opening normal to the principal tensile stress at that part, or the same thing, along the principal compression.



(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)

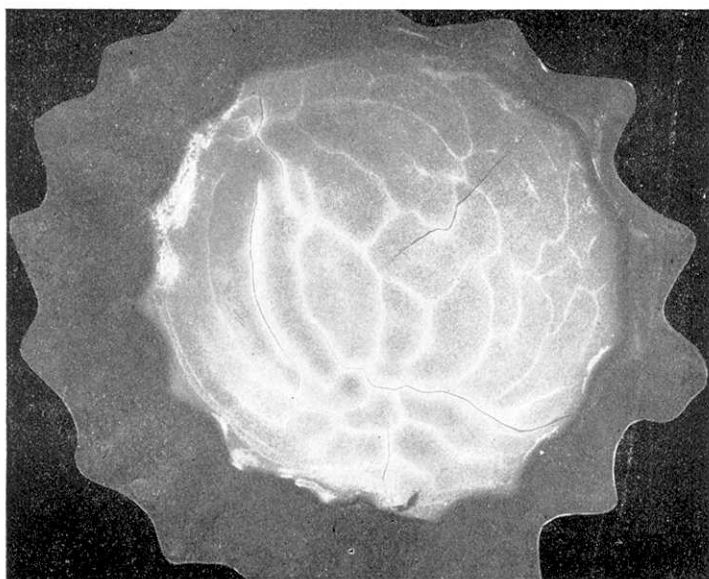
第一圖 面積收縮裂罅

Fig. 1. Cracks due to surface contraction. Tendency of the normal intersect of cracks is seen. Localized and variable dimensions of elementary cracks are seen.



第二圖 墨汁の乾固して生じた割目

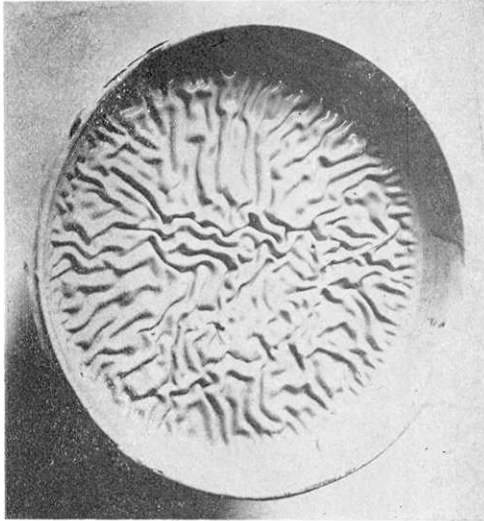
Fig. 2. Cracks due to surface contraction. Radial cracks produced first. Transverse one then developed perpendicular to the former.



(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)

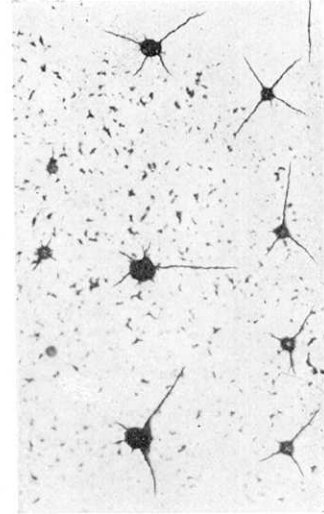
第三圖 ヘットの凝固して生じた割目

Fig. 3. Cracks due to the heterogeneous contraction of the material. White lines the seat of heterogeneity; dark lines on or crossing them are cracks.



第四圖 ペーントの表面凝固して生じた皺

Fig. 4. Folds on the skin due to the contraction of the internal material.



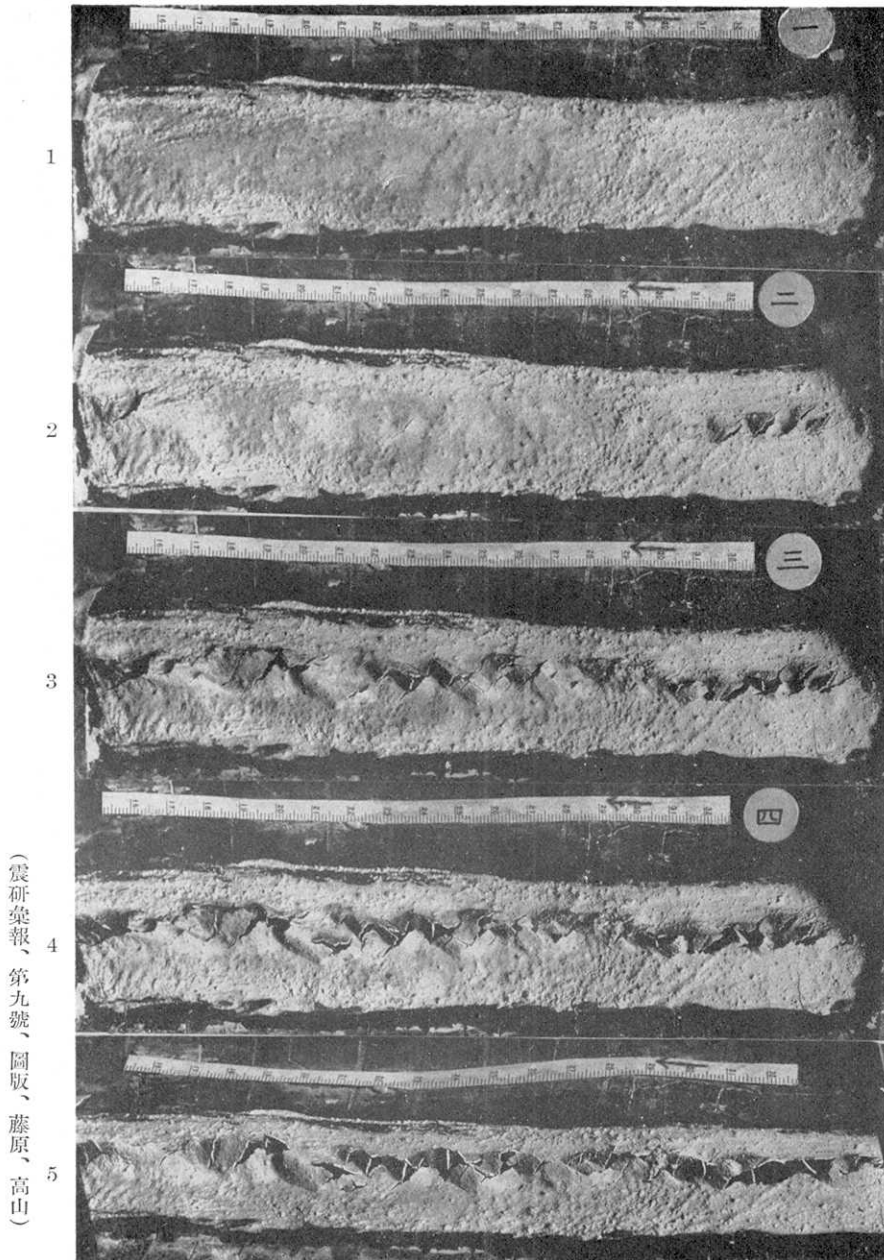
第五圖 パラフィンの板に打撃を加へたる場合の割目

Fig. 5. Cracks due to conical bending produced on paraffin plate by the impact of a pointed metal.



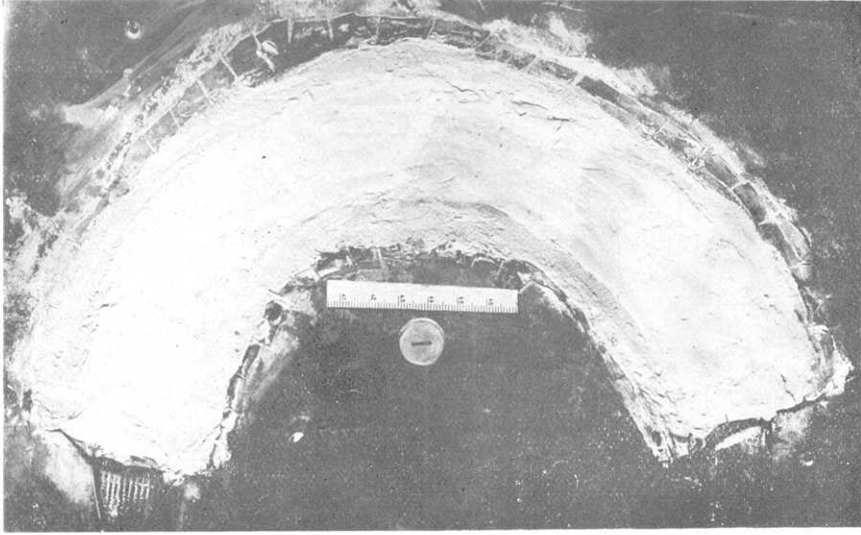
(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)

第六圖 道路工事中のローラーによつて生じた地面の平行な割目
Fig. 6. Parallel cracks due to cylindrical bending of a rough surface.

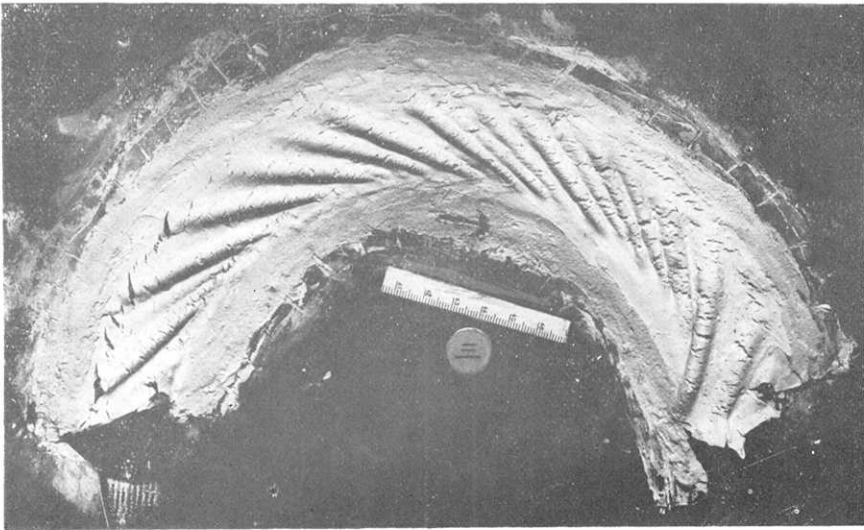


第七圖 歪みによる張力及壓力雁行裂罅

Fig. 7. Cracks and creases in échelon produced by shearing process. // tension cracks; \\ creases and cracks by compression. Tension cracks appear always first see 2, then compression creases see 3, then compression cracks see 4. 5 is the same as 4 but seen obliquely in order to show elevation along creases.



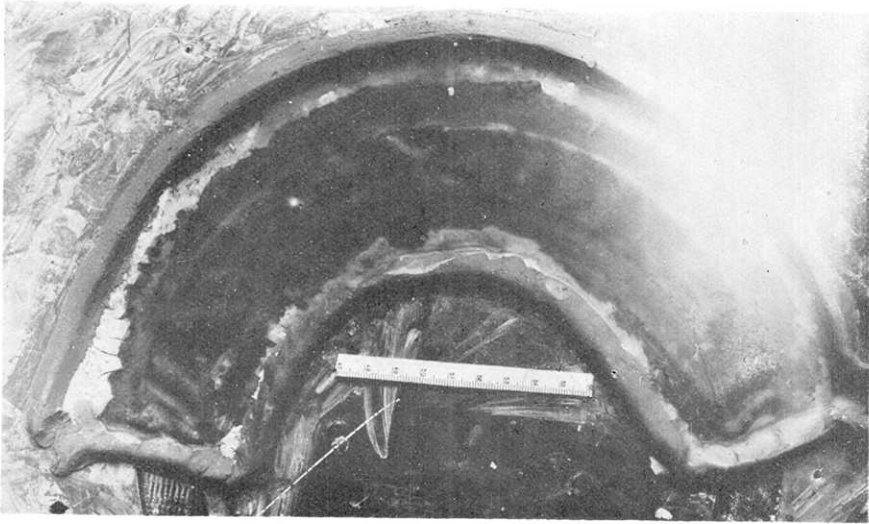
1. Before the experiment.



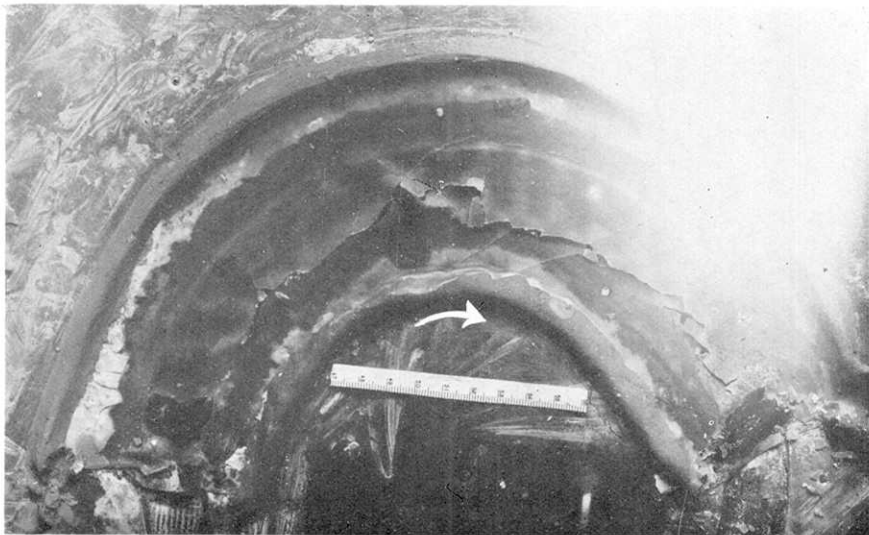
2. After rotation.

第九圖 麥粉と亞鉛華粉の混合物の回轉による弧狀雁行褶曲及裂罅、褶曲は壓縮により、裂罅は張開によりて生ず、方向は直交

Fig. 9. Folds and cracks due to shear along an arc. Folds can be thus produced without any sensible alteration of the surface area. Cracks are perpendicular to the creases.

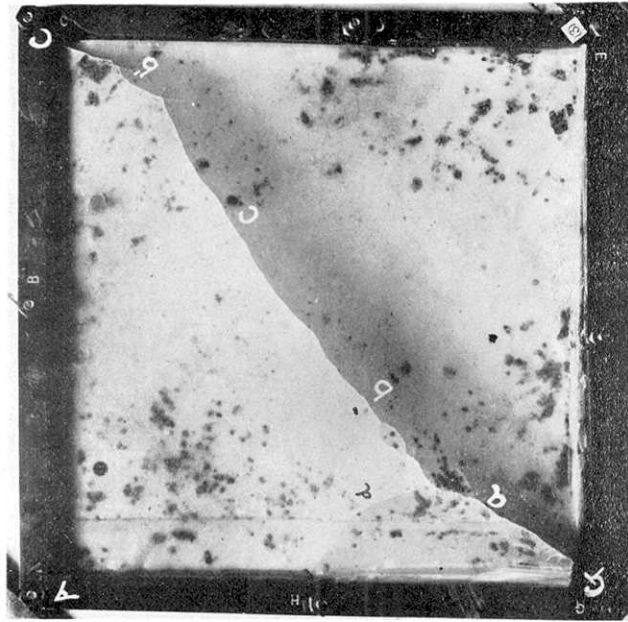


(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)



第十圖 パラフィン板の回轉による純粹剪斷裂罅(中央より左)及雁行裂罅(中央より右)

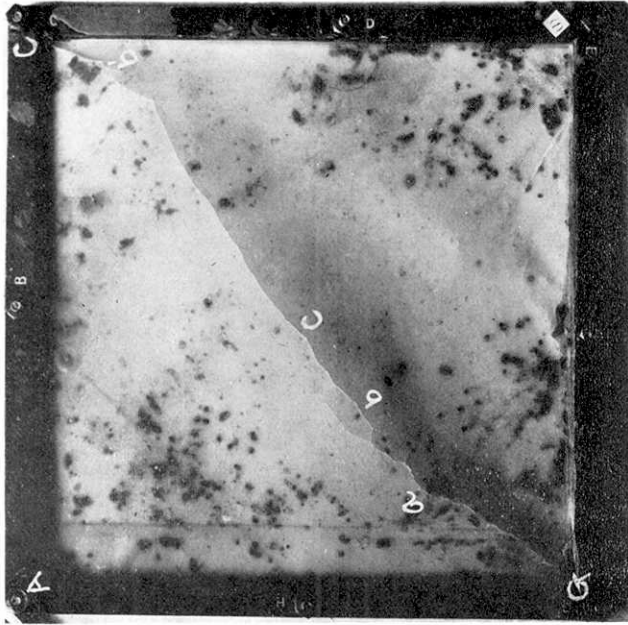
Fig. 10. Tension cracks in échelon and a genuine shear crack produced on a paraffine plate by simple shear along a circular arc.



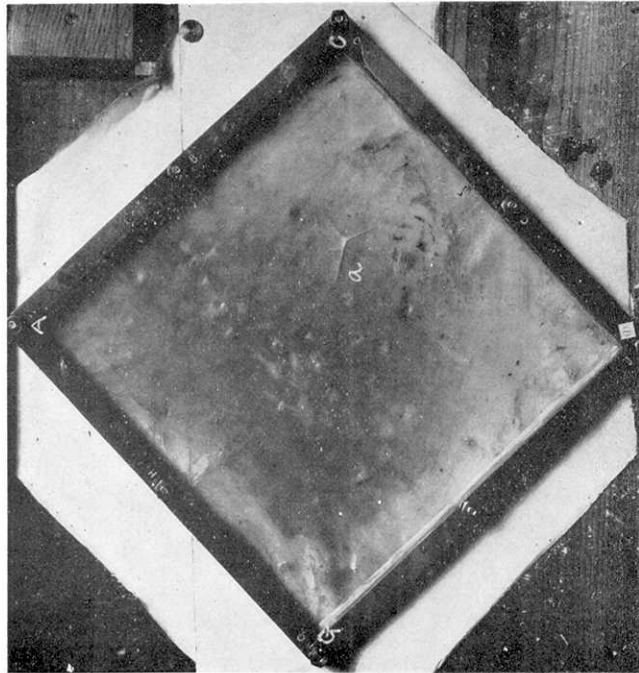
2. After compression.

第十二圖 對角線上の壓縮による撓曲裂罅

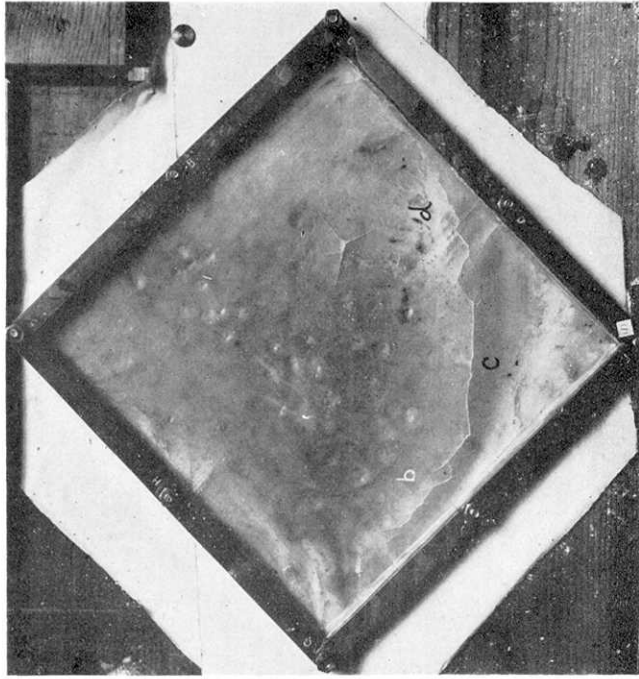
Fig. 12. Bending crack a, b, c, d' produced on paraffin plate by diagonal compression along A E, the joints A, C, E, G being free.



3. Further compression.



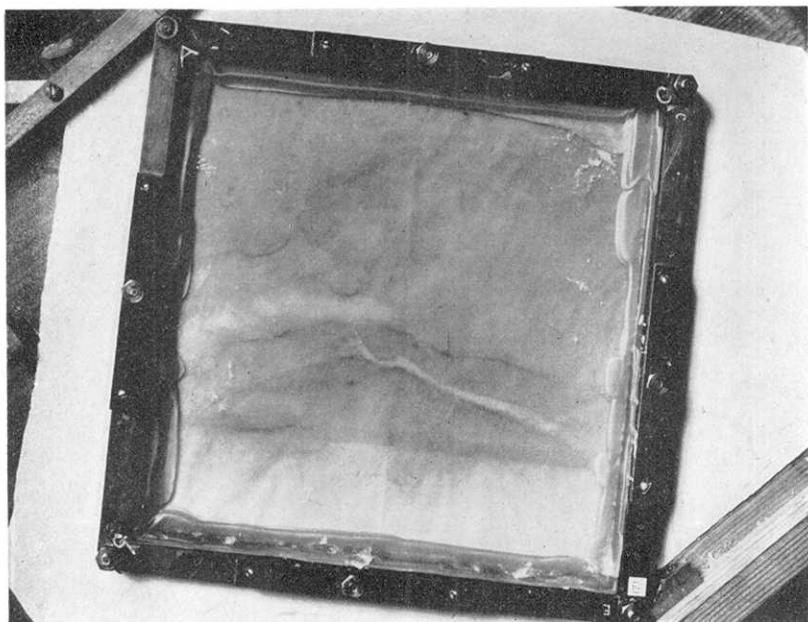
1. Before the experiment.



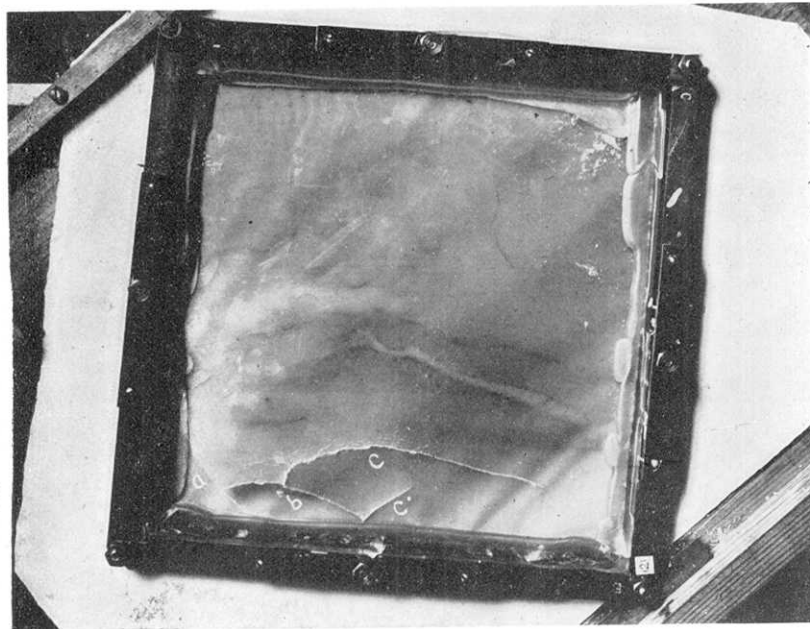
2. After the experiment.

第十三圖 對角線の方向に加へたる壓力による剪斷裂罅 b と撓曲裂罅 c.

Fig. 13. Compressive bending crack c and shear cracks b and d produced on paraffin plate by diagonal compression of the frame along AE. Joints of the frame at A, C, E and G are free.



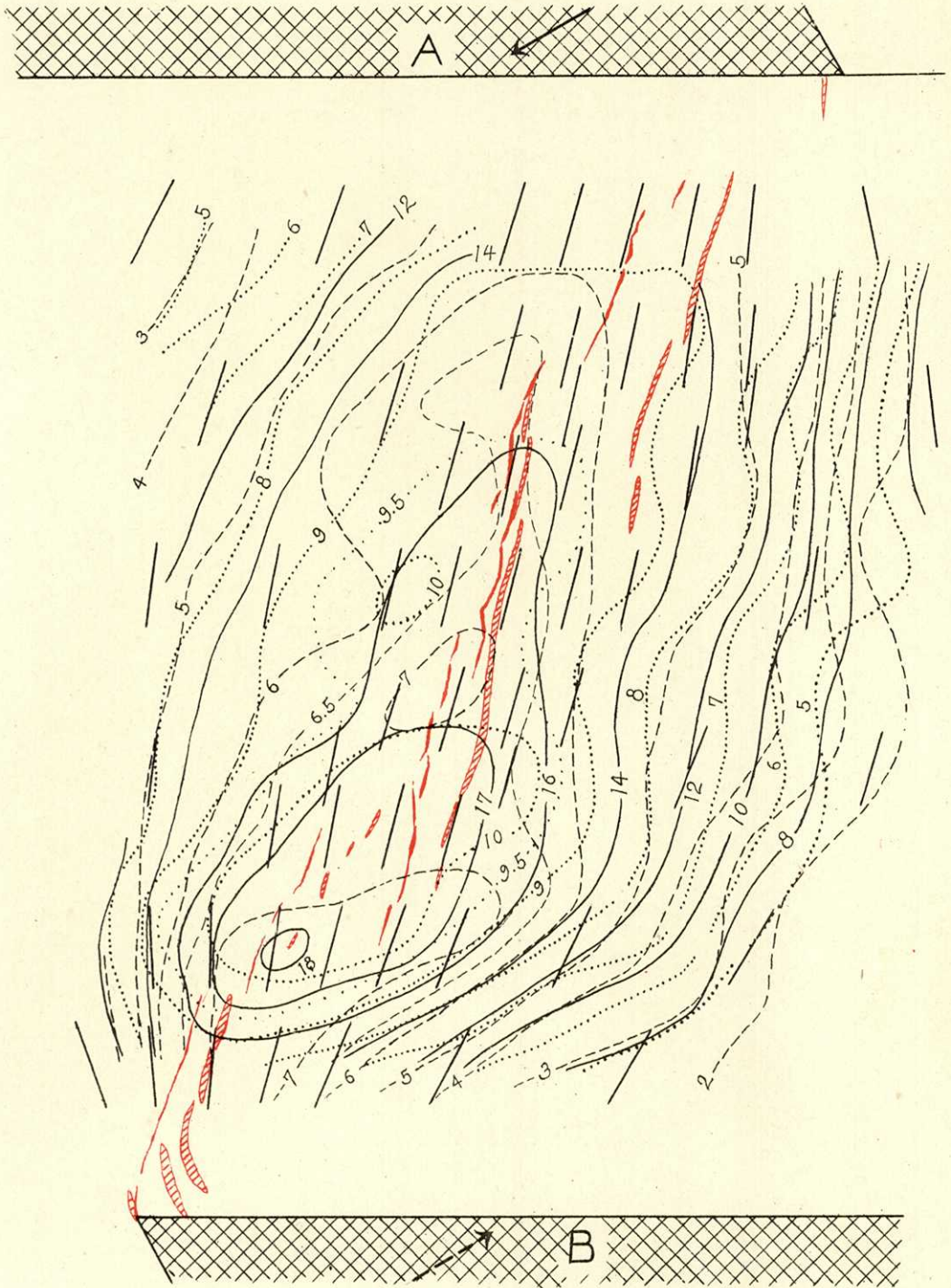
1. Before the experiment.



2. After the experiment.

(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)

第十四圖 パラフィンの板の縁邊の割目青海波模様ワレ目外側より進入する場合
Fig. 14. Marginal arcuate cracks b, c, c' produced on paraffine plate by diagonal compression along AE, the joints at A, C, E and G being free.



(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)

Fig. 18. Curves of equal stresses and produced cracks of the experiment (1), 2).
 Straight lines show the direction of the principal stress.
 Curves in full line show the equal total shear.
 Curves in broken line show the equal principal compressive stress.
 Curves in dot show the equal principal tensile stress.
 Lines in red are the cracks produced. Full and Shade indicate the results of two different experiments belonging to the same class and same variety.

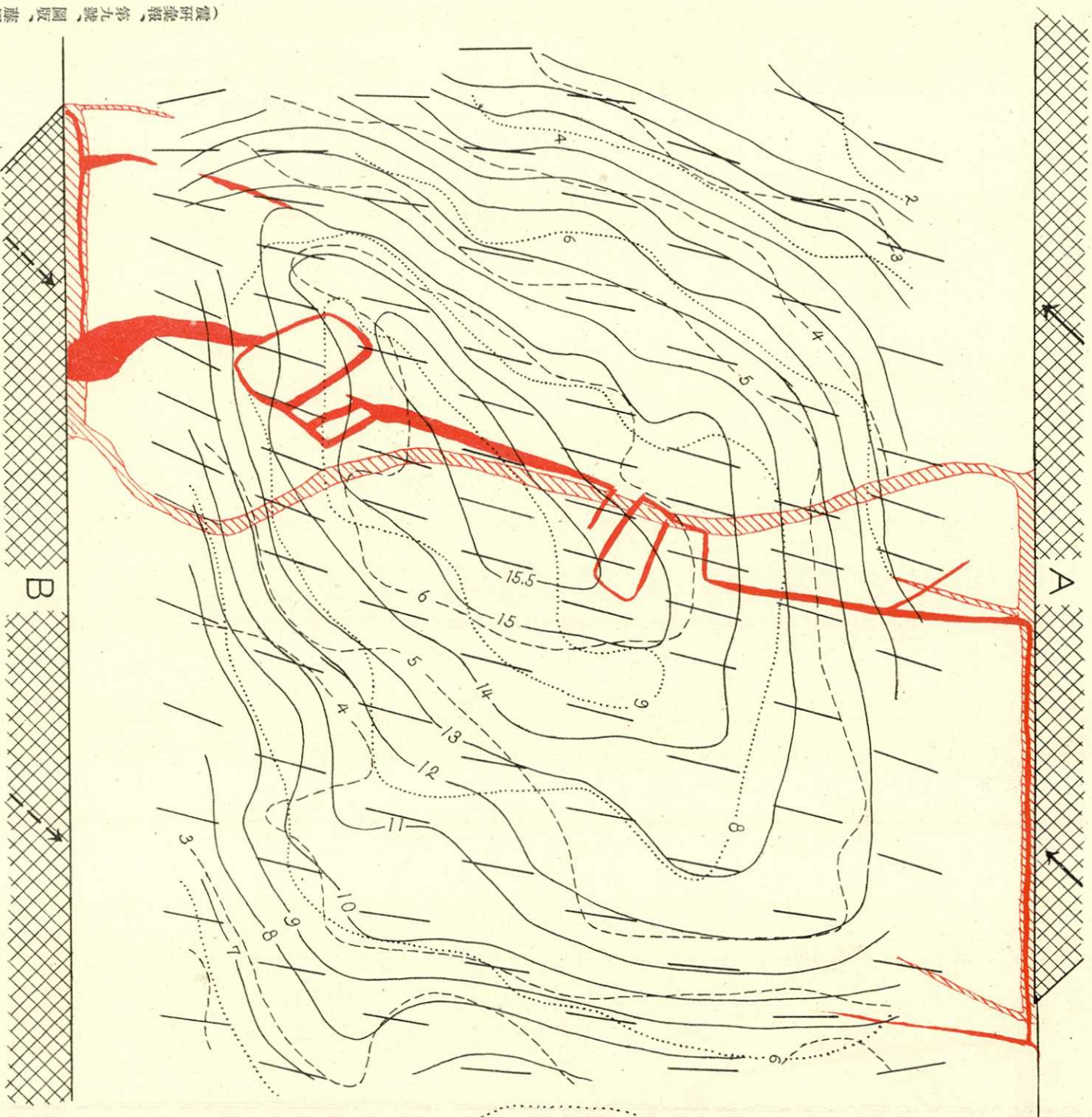


Fig. 19. Curves of equal stresses and produced cracks of the experiment (II). 1).

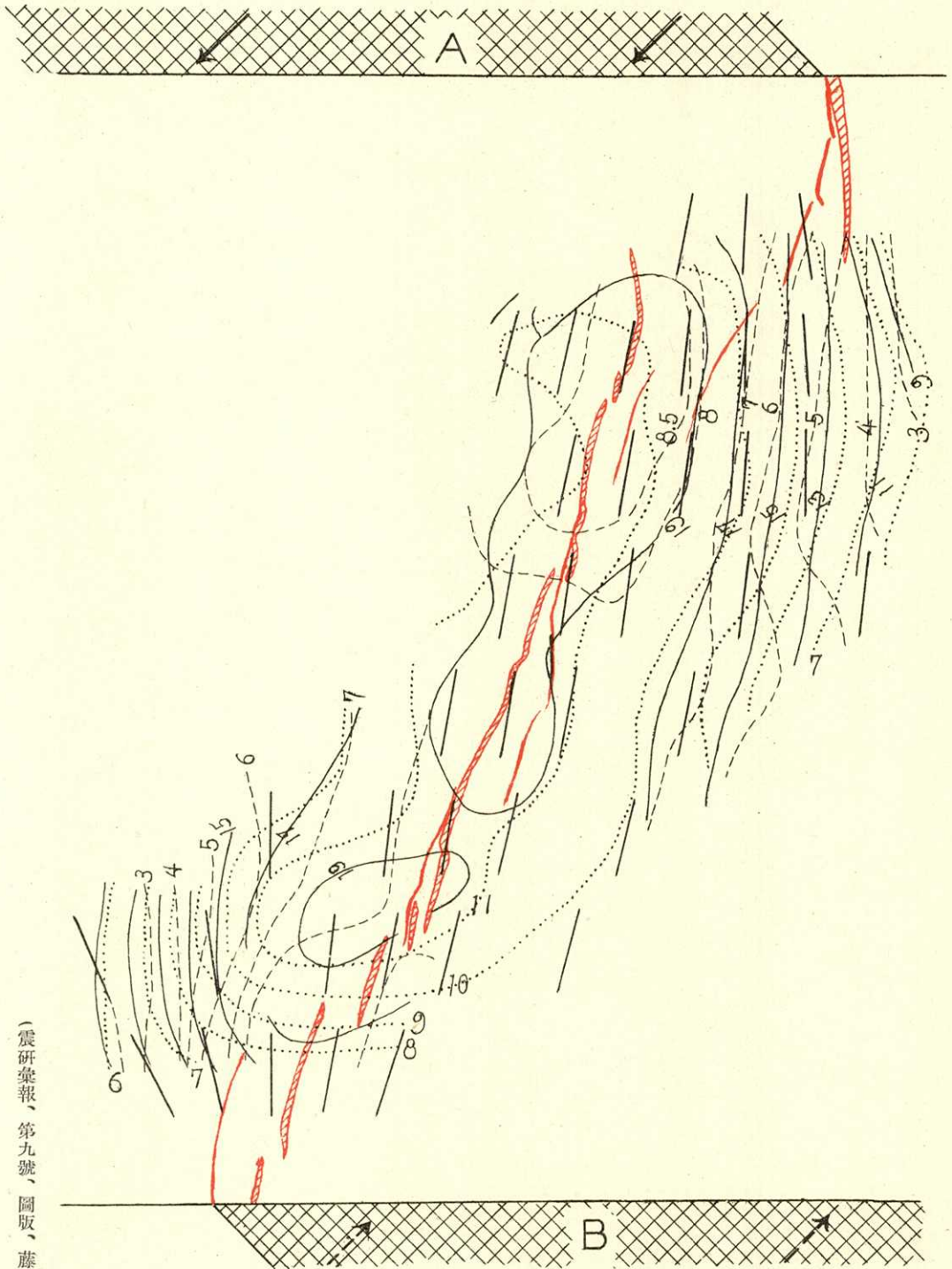
Straight lines show the direction of the principal stress.

Curves in full line show the equal total shear.

Curves in dot show the equal principal compressive stress.

Curves in red show the equal principal tensile stress.

Lines in red are the cracks produced. Full and Shade indicate the results of two different experiments belonging to the same class and same variety.



(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)

Fig. 20. Curves of equal stresses and produced cracks of the experiment (II). 2).

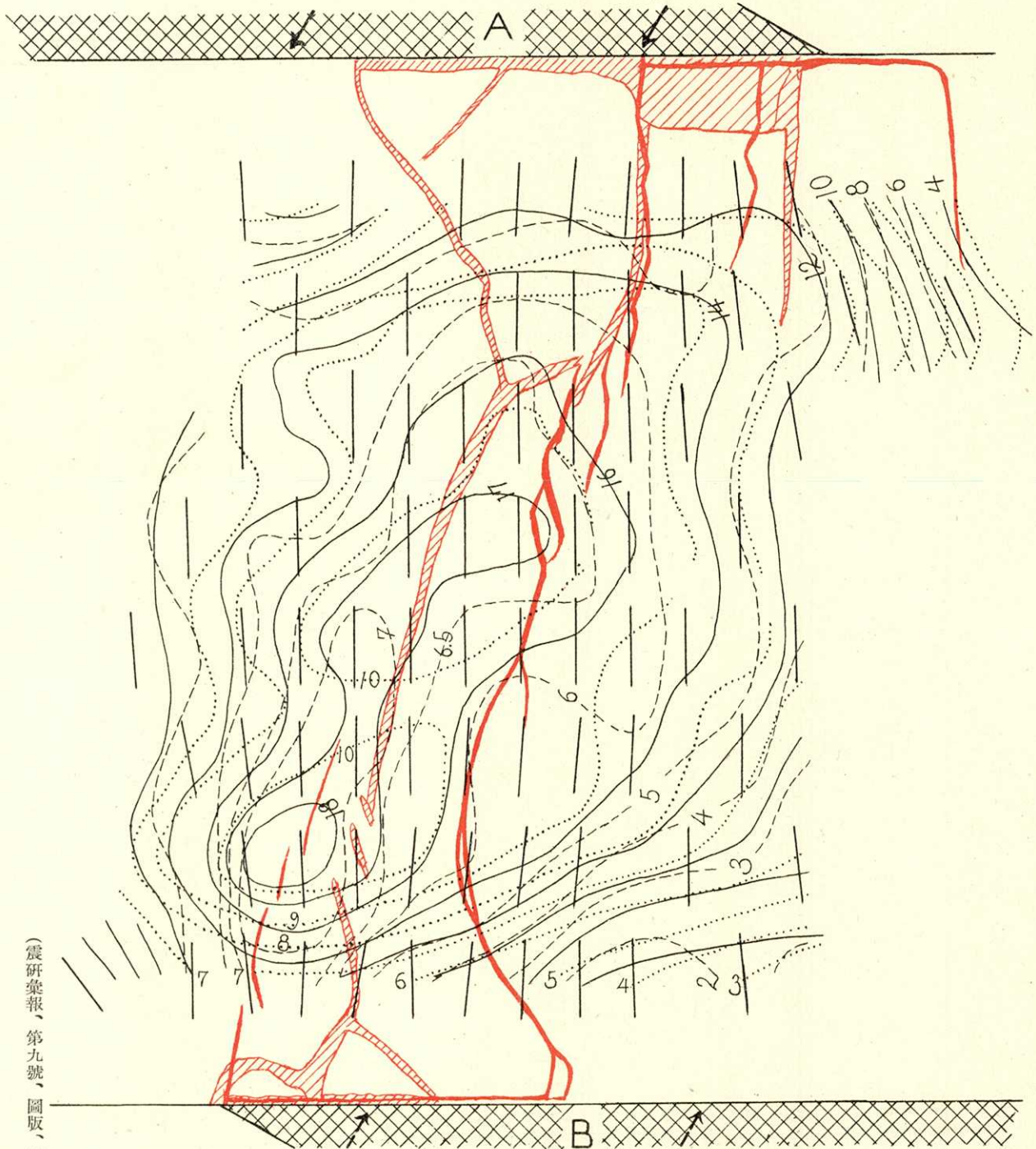
Straight lines show the direction of the principal stress.

Curves in full line show the equal total shear.

Curves in broken line show the equal principal compressive stress.

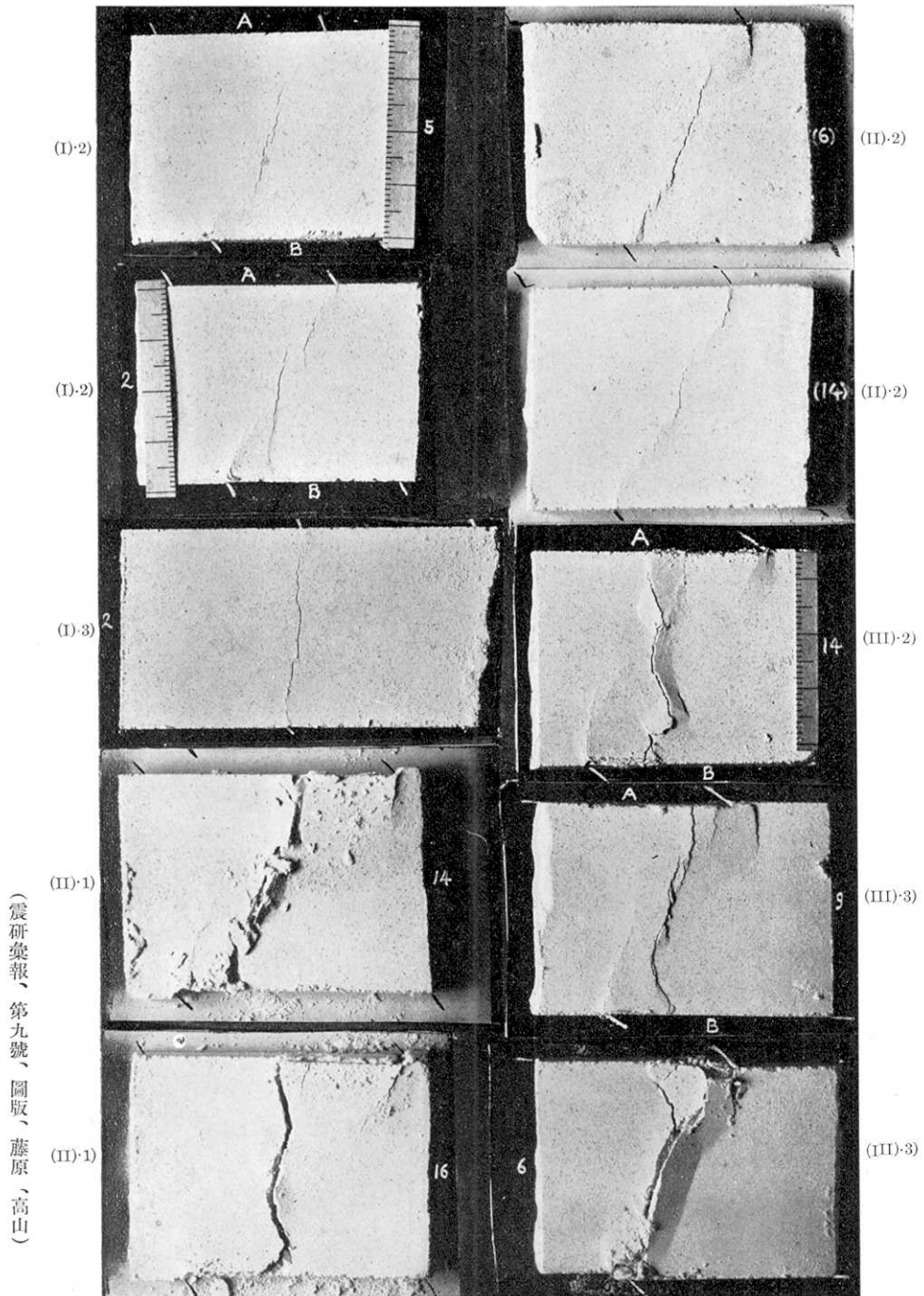
Curves in dot show the equal principal tensile stress.

Lines in red are the cracks produced. Full and Shade indicate the results of two different experiments belonging to the same class and same variety.



(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)

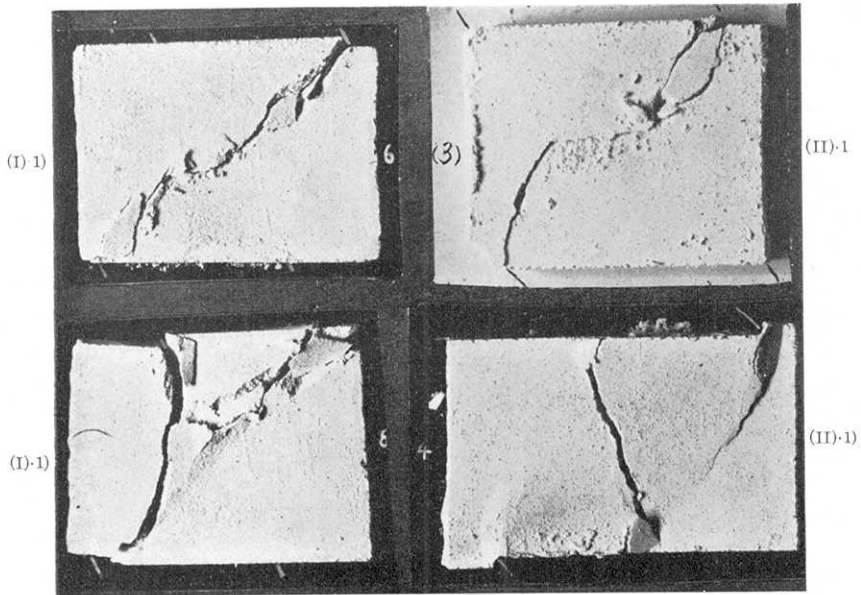
Fig. 21. Curves of equal stresses and produced cracks of the experiment (III). 3).
 Straight lines show the direction of the principal stress.
 Curves in full line show the equal total shear.
 Curves in broken line show the equal principal compressive stress.
 Curves in dot show the equal principal tensile stress.
 Lines in red are the cracks produced. Full and Shade indicate the results of two different experiments belonging to the same class and same variety.



(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)

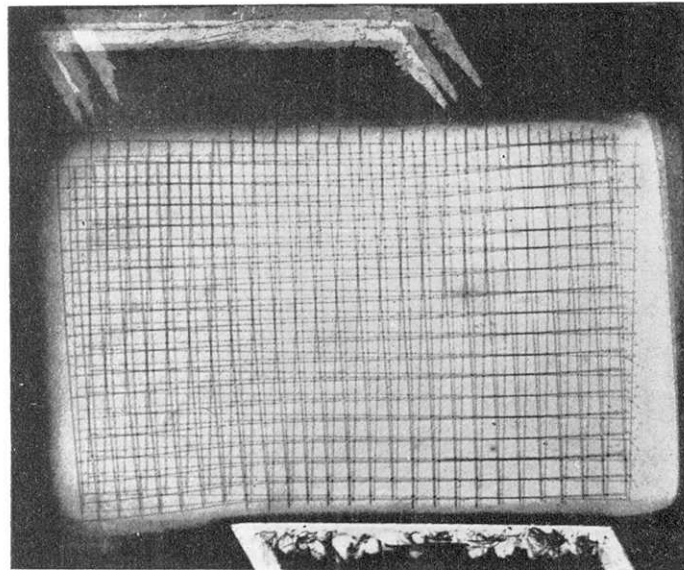
第二十三圖 a、表粉枚を前後兩側より斜に押して生じたる種々の割目

Fig. 23 a. Cracks produced.



第二十三圖 b、表粉の板を前後より斜に押して生じたる種々の割れ目
Fig. 23 b. Cracks produced.

(震研彙報、第九號、圖版、藤原、高山)



第二十四圖 ゴム板を歪めた状況
Fig. 24. Strain experiment.

Thus an interesting fact is found that the fracture must proceed along the zone of maximum stress, but individual fissures take place in the direction of the principal stresses at individual points in the zone. Thus *the actual fracture thus caused inevitably becomes an échelon formation along the zone of the maximum stress with elementary cracks in the direction of the principal stress.*

The sense of échelon was defined as positive when elementary cracks deviate to the left of the direction of the zone of fracture and negative when deviate to the right. The sense of échelon, therefore, depends on the relation between the directions of the line or zone or perhaps better word, ridge of maximum stress and of the principal stress. Suppose that the directions of the principal stress are nearly parallel for all points in the area concerned as shown in Fig. 22 in which the compression and tension are shown by arrows. Suppose that the maximum zone of stress runs in any direction between OX and OY say OA. The sense of shear along OA is positive. If the elementary cracks are tension cracks then they are nearly parallel to OY and hence the positive échelon of tension cracks must be formed along OA along which the sense of shear is positive i.e. the rotation is anticlockwise. The compression cracks are always normal to the tension cracks. They are parallel to OX in Fig. 22. Hence a negative échelon of the compression cracks must be formed accompanied by a positive shear along the main line of fissure. If, however, the line of the maximum stress runs along any direction between OY and O(-X) say OB then the sense of shear along the line is negative. And just as proved above, it can be easily shown that the negative échelon of tension cracks and the positive échelon of compression cracks are inevitably accompanied by the negative shear along the line of fracture. *Thus the law on the sense of échelon formation formerly raised⁶⁾ is now affirmed.*

When the break occurs parallel to OY or OX then no échelon occurs but a continuous crack or parallel irregular cracks. Which of tension or compression cracks will appear in an actual case depends only on the property of the material concerned. When the material is weaker against the tensile stress than against the compressive or shearing stress then the tension cracks are produced. When, however, the material is weaker against the shearing stress than against the tensile stress then the compression échelon is favourably formed, because in nearly all materials shearing fracture is produced by the compression. In some cases both the tension and compression cracks can be produced simultaneously. In such cases they form a zig-zag crack along the zone of the maximum stress. A tension crack has naturally opening while a compression crack is closed and shows evidence of slip such as dislocation of the two sides of the crack. Hence by a close examination of the crack, we can determine the sense of stress applied on the material as already pointed out by the present authors from the practical point of view.

6) S. Fujiwhara, *Gerlands Beitr.*, 16 (1927), 1-14.